

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

KATEDRA TELEKOMUNIKAČNEJ TECHNIKY

STUDIUM VLASTNOSTÍ FIXAČNÍCH MATERIÁLŮ
OPTICKÝCH VLÁKEN ZA POKOJOVÉ TEPLoty
POMOCÍ DSTS

STUDY OF FIXING MATERIAL PROPERTIES FOR
OPTICAL FIBERS UNDER ROOM TEMPERATURE
WITH THE HELP OF DSTS

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Jozef Bugáň

Studijní program:

N2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2601T013 Telekomunikační technika

Téma:

Studium vlastností fixačních materiálů optických vláken za pokojové
teploty pomocí DSTS
Study of fixing material properties for optical fibers under room
temperature with the help of DSTS

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Znalost fixačních vlastností materiálů pro optická vlákna a kabely, pomocí kterých jsou tato vlákna a kabely uchycována na podklady typu zdivo, podlahové materiály, dřevo, atp. je významná pro praktické nasazení vláknově optických distribuovaných senzorů. Diplomová práce je zaměřena na porozumění jevů a dějů, ke kterým zde dochází. Proto jsou úkoly v DP následující:

1. Proveďte rešerši týkající se možných způsobů uchycení optických vláken a kabelů pro senzorové aplikace.
2. Popište nelineární rozptyly v optických vláknech a metody založené na jejich využití pro senzorové aplikace.
3. Realizujte měřicí sestavu s využitím DSTS pro opakovaná uložení optických vláken a kabelů s cílem dosáhnout minimálních rozptylů.
4. Realizujte měření Brillouinovských frekvencí pro různou kombinaci podkladových a fixačních materiálů.
5. Analyzujte dosažené výsledky z hlediska reprodukovatelnosti uchycení.

Seznam doporučené odborné literatury:

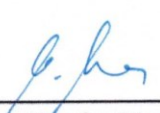
- [1] Rashvand, H.F., Calero, J.M.A.: Distributed Sensor Systems. John Wiley and Sons Inc., UK 2012, ISBN 978-0-470-66124-6.
- [2] Saleh, B.E.A., Teich, M.C.: Fundamentals of Photonics. 2nd edition, John Wiley and Sons Inc. Hoboken, New Jersey, 2007, ISBN: 978-0-471-35832-9
- [3] Podle pokynů vedoucího DP

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.**

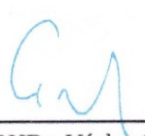
Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017



doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.
vedoucí katedry





prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prehlásenie

Prehlasujem, že som túto diplomovú prácu vypracoval samostatne. Uviedol som všetky literárne pramene a publikácie, z ktorých som čerpal.



.....
Jozef Bugáň
28. apríla 2017

Pod'akovanie

Ďakujem môjmu vedúcemu práce prof. RNDr. Vladimírovi Vašinkovi, CSc. za odovzdanie vzácnych skúseností a usmernenie pri písaní tejto diplomovej práce. Ďalej ďakujem Ing. Jakubovi Jarošovi a Ing. Marcelovi Fajkusovi za ich pomoc pri realizácii praktickej časti, ktorá tento výskum učinila presnejším a efektívnejším.

Posledné pod'akovanie patrí môjmu kolegovi Bc. Jakubovi Dupkalovi za jeho asistenciu pri konštruovaní náročnej praktickej časti, bez ktorého by jej zhotovenie nebolo možné a mojej priateľke za psychickú podporu.

Abstrakt

Cieľom tejto diplomovej práce bola analýza vplyvu fixačných lepiacich pások na optické vlákna pri meraní pomocou DSTS systému. Oblasť v ktorých distribuované senzory nachádzajú uplatnenie rapídne pribúda, preto je nevyhnutné poznať možnosti uchytienia senzorického vlákna na špecifických povrchoch. V súčasnosti nemáme dostatočné znalosti v oblasti vplyvu uchytienia senzorických vlákien, čo na nás apeluje túto skutočnosť v rámci tejto práce rozširovať o nové poznatky. Výskum tejto práce rozšíri informácie senzorových aplikácii optických vlákien, objasní možnosti ich uchytienia a pomôže tak získať presnejšie výsledky. Účelom testovania tejto práce bol výskum týchto vlastností a snaha porozumieť fixačnej koexistencii daných materiálov. Ďalším experimentom bolo nájsť súvislosť medzi odtrhovou silou fixačných pások a Brillouinovými frekvenciami. Skúmaných bolo 6 podlahových materiálov, 5 fixačných pások a 2 optické vlákna.

Kľúčové slová

DSTS, Brillouinová frekvencia, podlahové materiály, fixačné pásy, lepiace pásy

Abstract

The aim of this diploma thesis is the analysis of the influence of adhesive tapes on optical fibres during measurement by the DSTS system. The number of areas where distributed sensors find utilization is rising. That is why it is crucial to find all the possibilities how to attach the sensory fibres on specific surfaces. Nowadays we do not have enough knowledge about the influence of the way how we attach the sensory fibres which makes us focus on broadening the amount of information. The research of this diploma thesis will extend the knowledge of sensory applications of optical fibres, it will clarify the possibilities of their attachment and by that it will help when getting more exact results. The purpose of the experiment included in this thesis was the research of these characteristics and the effort to understand the fixation coexistence of chosen materials. The following experiment was to find the connection between tear force of fixation tapes and Brillouin frequencies. Six floor tapes, five fixation tapes and two optical fibres were examined.

Keywords

DSTS, Brillouin frequency, floor materials, fixation tapes, adhesive tapes

Zoznam použitých skratiek

Skratka	Anglický význam	Slovenský význam
BSG	Brillouin gain spectrum	Spektrum Brillouinového zisku
DSTS	Distributed Temperature and Strain sensing	Distribovaný teplotný a napäťový systém
SBS	Stimulated Brillouin scattering	Stimulovaný Brillouinov rozptyl
SRS	Stimulated Raman Scattering	Stimulovaný Ramanov rozptyl
WDM	Wavelength Division multiplexing	Vlnový multiplex

Obsah

Obsah.....	10
1 Úvod.....	12
2 Rozptyl svetla.....	13
2.1 Rayleighov rozptyl.....	14
2.2 Mieov rozptyl	15
2.3 Brillouinov rozptyl.....	15
2.3.1 Stimulovaný Brillouinov rozptyl	16
2.4 Ramanov rozptyl.....	18
2.4.1 Stimulovaný Ramanov rozptyl	18
3 Systém DSTS	21
3.1 Popis technológie DSTS	21
4 Vypracovanie	24
4.1 Postup	24
4.2 Výber materiálov	24
4.2.1 Podlahové materiály	25
4.2.2 Fixačné pásy	25
4.2.3 Optické vlákna	26
4.3 Schéma.....	27
4.4 Pracovisko	28
5 Odrhová sila fixačných pások.....	31
5.1 Testovanie odtrhovej sily.....	32
5.2 Spracovanie výsledkov odtrhových síl	35
5.3 Zhodnotenie výsledkov odtrhovej sily.....	43
6 Vplyv fixačných pások na Brillouinové frekvencie.....	45
6.1 Brillouinová frekvencia v čase	45
6.1.1 Optické vlákno G.652d.....	46
6.1.2 Optické vlákno G.652a	51
6.2 Brillouinová frekvencia v čase	55
6.2.1 Optické vlákno G.652d.....	55
6.2.2 Optické vlákno G.652a	56
6.3 Zhodnotenie výsledkov fixačných pások a ich Brillouinových frekvencií.....	57
7 Časová súvislosť Brillouinovej frekvencie a odtrhovej sily	59
7.1 Optické vlákno G.652d.....	59
7.2 Optické vlákno G.652a	60
	10

7.3	Zhodnotenie možnej súvislosti odtrhovej sily a Brillouinovej frekvencie	61
8	Záver	62

1 Úvod

V súčasnosti distribuované optické systémy nachádzajú uplatnenie v čoraz širšom spektre využitia. Svoju dominantnosť v senzorických aplikáciách dokazujú schopnosťou získavať veľmi presné hodnoty vďaka vysokej citlivosti na zmeny monitorovaných veličín. Distribuované senzory sú natoľko citlivé, že sú ovplyvňované aj samotnými inštalačnými a fixačnými prvkami optických vlákien. Je teda nevyhnutnosťou poznať vplyv týchto elementov a zamedziť tak skresľujúcim výsledkom.

Cieľom tejto diplomovej práce bolo preskúmať vplyv fixačných pásov na rôznych podkladových podlahových materiáloch. Okrem vonkajšieho využitia napr. pri potrubiach, baní, železných či betónových konštrukciách, zvyšuje sa potreba uchytiť optické vlákno aj na materiály tohto charakteru.

Prvá časť výskumu sa venuje odtrhovej sile optického vlákna v ťahu z pod fixačnej pásky. Rozoberá vplyvy ktoré pôsobia na účinnosť fixácie optického vlákna a prináša na svet poznatky potrebné pre rozvoj aplikácii jeho využitia na špecifických podkladových materiáloch. Doterajšie odtrhové sily optických vlákien a odtrhové sily fixačných pásov udávané výrobcom nie sú dostačujúce pre určenie správnej pásky pre fixáciu daného optického vlákna.

Ďalšia časť práce zachytáva veľkosť vplyvu fixačných pásov na nimi uchytené optické vlákna na konkrétnych podlahových materiáloch. Po zistení veľkosti síl, akou fixačné pásky držia optické vlákna na podkladových materiáloch bolo na rade analyzovať, aký vplyv majú fixačné pásky na samotné optické vlákna z pohľadu DSTS systému. Zatiaľ čo odtrhovou silou sa zisťoval vonkajší vplyv fixačných pásov na optické vlákna, Brillouinové frekvencie zachytávajú pohľad z vnútornej perspektívy optického vlákna.

Tretiu časť tvorí experimentálny pokus, kde sa hľadá možná súvislosť medzi prvou a druhou spomínanou časťou práce. Potvrdenie závislosti odtrhovej sily a Brillouinovej frekvencie by mohlo uzákoniť akési všeobecné referenčné pravidlo, podľa ktorého by fixačná páska vypovedala o sebe potrebné informácie pre fixovanie bez nutnosti použitia DSTS systému.

Posledná časť zhrňuje dosiahnuté výsledky, odporúča vhodné riešenie fixácii optických vlákien a dokončuje teóriu o závislosti odtrhovej sily a príslušnej Brillouinovej frekvencie.

2 Rozptyl svetla

Rozptyl svetla je forma rozptylu, pri ktorej je svetlo v podobe šíriacej sa energie ďalej rozptýlené. Rozptýlenie svetla je myslené ako vychýlenie šíriaceho sa lúču od jeho pôvodnej priamej dráhy. Tento jav je zapríčinený napríklad nedokonalosťami v prenosovom médium, malými časticami alebo rozhraním medzi dvoma médiami. Odchýlky v zmysle zákona odrazu sú kvôli nepravidelnostiam povrchu tiež zvyčajne považované ako forma rozptylu. [1]

Detailnejšie ak sú tieto nepravidelnosti natoľko náhodné a husto sa vyskytujúce, že ich individuálnym efektom tvoria vo finále priemer, tento druh rozptýleného odrazu je tiež označovaný ako difúzny odraz. Ten sa vyznačuje tým, že šíriace sa svetlo je po tejto difúzii odrazené pod rôznymi uhlami do rozličných smerov. [6], [7]

Väčšina objektov ktoré človek vidí sú práve viditeľné vďaka javu rozptylu svetla na ich povrchoch. Toto je hlavný mechanizmus nášho fyzického pozorovania. Rozptyl svetla závisí na vlnovej dĺžke alebo frekvencii rozptýleného svetla. Prenos svetla o rôznych frekvenciách je zásadným pre aplikácie od jeho prenosov cez sklenené okno až po prenos v optických komunikáciách či infračerveno tepelne navádzané detekčné systémy. Prenos svetla v optických systémoch môže byť utlmený absorpciou, odrazmi či rozptylmi. [2], [3], [4], [5]

Z fyzikálneho hľadiska je možné popísať rozptyl svetla nasledovne. Uvažujme čo sa stane, keď sa šíriaca svetlená vlna stretne s molekulou alebo malou dielektrickou časticou či celou vrstvou častíc, ktoré sú menšie ako jej vlnová dĺžka. Elektrické pole vlny polarizuje časticu vzájomným posuvom kladne nabitého jadra a záporne nabitého elektrónového obalu atómu. Elektróny sa v častici spájajú a oscilujú s elektrickým poľom svetlenej vlny. Výsledný efekt je, že dopadajúca vlna je čiastočne vyžarovaná do rozličných smerov a tým pádom stráca na intenzite v jej pôvodnom smere šírenia. O tomto procese je teda možné povedať, že častica absorbuje určitú energiu prostredníctvom elektrónovej polarizácie a vyžiari ju do rozličných smerov. To znamená, že tieto rozptýlené vlny predstavujú sférickú vlnu, ktorá je vyžarovaná z rozptyľujúcej molekuly. Toto však nie je prípad, kedy obecne forma a smer vyžiareného svetla závisí od tvaru a polarizovateľnosti rozptyľujúcej molekuly. Kedykoľvek veľkosť rozptyľujúcej oblasti či nehomogenít, častíc alebo molekúl je niekoľkokrát menšia ako vlnová dĺžka dopadajúcej vlny, rozptyľujúci proces je obecne nazývaný ako Rayleighov rozptyl. V tomto prípade je veľkosť častíc typicky menšia než jedna desatina vlnovej dĺžky dopadajúceho svetla. [8], [9]

2.1 Rayleighov rozptyl

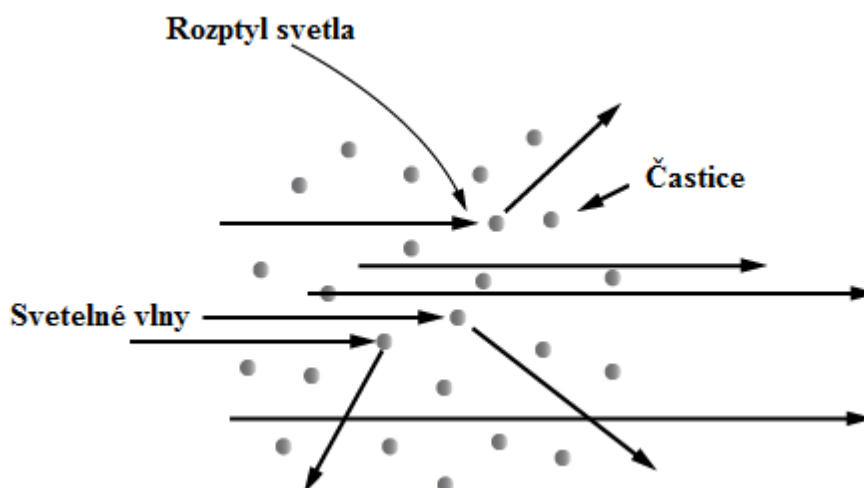
Rayleighov rozptyl je možné určiť podľa podmienok, za ktorých vzniká. Platí pravidlo, že pri tomto rozptyle dochádza za pomoci molekúl a častíc, ktorých veľkosť je niekoľkokrát menšia ako vlnová dĺžka dopadajúceho žiarenia. To nastáva, keď svetlo preniká plynými, kvapalnými alebo pevnými fázami látky.

Intenzita Rayleighovho rozptylu má veľmi silnú závislosť na veľkosti rozptyľujúcich častíc, resp. je úmerná šiestej mocnine ich priemeru. Ďalší matematický popis hovorí, že jeho intenzita je nepriamo úmerná štvrtej mocnine vlnovej dĺžky svetla. To znamená, že svetlo o kratšej vlnovej dĺžke je rozptýlené silnejšie než svetlo o dlhšej vlnovej dĺžke.

Rayleighov rozptyl je hlavnou príčinou útlmu v optických vláknach. Dochádza naň pri zrážke svetla s dielektrickými nehomogenitami vznikajúcimi z fluktuácií relatívnej permitivity, ktorá je súčasťou vnútornej štruktúry skla vo vlákne. Z dôvodu technológie výroby sklenených optických vlákien nie je možné nijak zabrániť Rayleighovmu rozptylu.

Je zrejmé, že samotný rozptyl zahŕňa elektrónovú polarizáciu molekúl alebo dielektrických častíc. Z uvedenej charakteristiky závislosti intenzity od vlnovej dĺžky je možné očakávať, že tento proces na seba viaže najviac energie v oblastiach ultrafialovej frekvencie, kde sú dôsledkom elektrónovej polarizácie najvyššie dielektrické straty spôsobené elektromagnetickým vyžarovaním. [8], [10], [11]

Rozptyl na väčších časticiach ako vlnová dĺžka dopadajúceho žiarenia už definuje ďalší rozptyl, ktorý je označovaný ako Mieov. [8]



Obrázok 2.1: Rayleighov rozptyl svetla

2.2 Mieov rozptyl

Mieov rozptyl je obecnější ako Rayleighov rozptyl. Jeho teória pokrýva aj podmienky vzniku pre Rayleighov rozptyl s výnimkou, že rozptyľujúce častice nemusia byť elektricky nevodivé. Inak povedané, Mieová teória je nadradenou množinou Rayleighovej. Tento rozptyl sa líši od Rayleighového dvoma podstatnými vlastnosťami. Jedná vlastnosť hovorí o podmienkach za akých rozptyl vzniká a druhá popisuje jeho dôsledky. [15]

Pri Mieovom rozptyle sa uvažuje o sférických čiastočkách, ktorých rozmery nesú rádu vlnovej dĺžky, prípadne sú ešte väčšie ako vlnová dĺžka šíriaceho sa svetla. Ďalej musí byť splnená podmienka, že táto difrakcia rovinnnej vlny vzniká na rovnakých homogénnych sférach, ktoré sú náhodne rozmiestnené v homogénnom prostredí a zároveň je medzi nimi vzdialenosť väčšia ako vlnová dĺžka. [13]

Druhá poznávací vlastnosť tohto rozptylu je v princípe šírenia rozptýleného svetla. Zatiaľ čo pri Rayleighovom rozptyle sa rozptýlené vlny šíria rôznymi smermi, pri Mieovom rozptyle je smer závislý od veľkosti rozptyľujúcich častíc. Uhol rozptylu svetla je totiž výrazne závislý na veľkosti častíc. Aj keď sa zpetný a dopredný rozptyl vyznačujú vyššou intenzitou rozptýleného svetla, tak i rozptyl do strán má nezanedbateľnú intenzitu. Pre väčšie častice však začína prevládať dopredný rozptyl. [15]

Mieová teória zakladá na predpoklade, že každá častica, na ktorú narazí svetelná vlna, sa chová ako rezonančný oscilátor, pričom počíta s tým, že pri tejto interakcii so svetelným lúčom dochádza k rozptylu, odrazu, absorpcii, lomu a interferencii svetla. Mieov rozptyl spôsobujú mikroskopické bublinky vo vlákne, napätie pôsobené na vlákno, nerovnomerný priemer jadra vlákna, nečistoty a ďalšie aspekty zrovnateľné s vlnovou dĺžkou. [14], [16]

V praxi je možné vidieť uplatnenie Mieovho rozptylu pri rozptyle svetla v oblakoch, v daždi aj na kvapôčkach v hmle alebo v prostrediach aerosóloveho charakteru. Využitie rovnako nájde v meteorológii pri rádiolokácii. [13], [15]

2.3 Brillouinov rozptyl

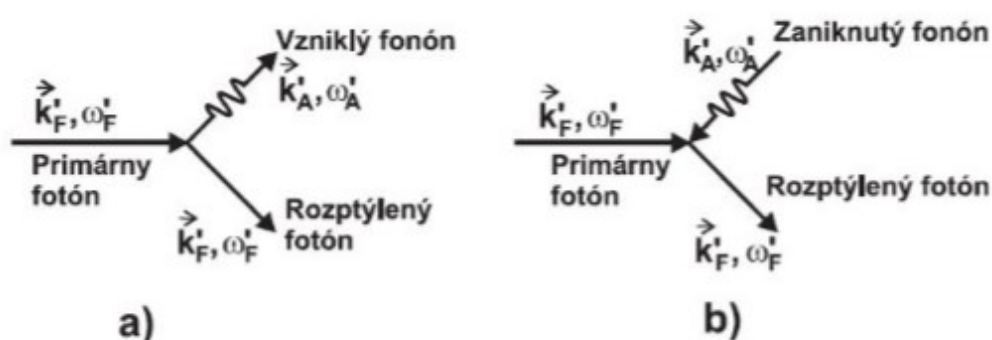
Brillouinov rozptyl je popísaný ako efekt, ktorý je spôsobený nelinearitou médií. Konkrétnejšie sa myslí tá časť, ktorá sa vzťahuje do akustických fonónov. Dopadajúce fonóny môžu byť premenené na fonóny s mierne nižšou energiou. Obyčajne je to v opačnom smere. Účinok môže nastať spontánne aj pri nízkych optických výkonoch, kde dochádza k tepelnej generácii pol'a fonónov. Pre vyššie optické výkony môže byť stimulovaný a ovplyvnený výskyt fonónov.

Z teórie o tuhých látkach je známe, že elektromagnetické vlny, inak povedané svetelné vlny, môžu v tuhých látkach, kvapalinách alebo plynch interagovať s inými typmi vln (ako napríklad akustické vlny, v magnetických látkach so spinovou vlnou a podobne). K zmenám indexu lomu týchto

prostredí dochádza v prípadoch pružných deformácií prostredí, zmenách hustoty kvapalín alebo plynov. Vo všeobecnosti sa dá povedať, že Brillouinov rozptyl je rozptyl svetelnej vlny na akustickej vlne.

Podľa kvantovo mechanického hľadiska je svetlo chápané ako súbor fotónov s energiou jedného fotónu a impulzom, kde ω_F je kruhová frekvencia svetelných vln, \vec{k}_F chápeme ako vlnový vektor, h je redukovaná Planckova konštanta. Na akustické vlny sa pozerá ako na súbory fonónov.

Podľa kvantovej mechaniky sa na interakcie svetelných vln s látkami pozeráme ako na procesy, v ktorých fotóny dávajú vznik novým fotónom a zároveň aj fonónom, alebo môže nastať opačný efekt, fotóny a fonóny dávajú vzniknúť novým fotónom. Na obrázku č. 2.2 sú demonštratívne zobrazené oba procesy.



Obrázok 2.2: Vznik fonónu a fotónu pri interakcii svetelných vln

Ak sú v procese interakcií svetiel s fonónmi zúčastnené optické fonóny ide o Ramanov rozptyl. V prípade akustických fonónov ide o Brillouinov rozptyl. [13]

2.3.1 Stimulovaný Brillouinov rozptyl

Stimulovaný Brillouinov rozptyl môžeme považovať za dominantu nelineárnych javov, ktoré sa objavujú v optických vláknach. Tieto efekty vznikajú počas interakcií optických poli a akustických vlnení predstavovaných kmitmi kryštálových mriežok. Za predpokladu veľkého vstupného výkonu sa môžu optické signálne vlny rozptyľovať na akustických vlnách. Dôsledky tepelných kmitov kryštálických mriežok materiálu jadra súvisia s pôvodom akustických vln a zároveň aj s prítomnosťou tepelných fonónov.

Stimulovaný Brillouinov rozptyl je nelineárnym efektom, ku ktorému dochádza pri stimulácii optického materiálu prostredníctvom intenzívneho elektromagnetického žiarenia. Počas SBS sa stretávame s prenosom energie z jednej svetelnej vlny na druhú. Vlna odovzdávajúca energiu sa nazýva signálna vlna nesúca energiu a vlnu prijímajúcu energiu označujeme Stokesová vlna. Táto vlna je nežiadúca a je dôsledkom rozptylových procesov. Počas prenosu sa časť energie stráca tým, že je

absorbovaná molekulárnymi vibráciami alebo prostredníctvom akustických fonónov v prenosovom médiu.

V prípade SBS hovoríme o interakcie svetelných vln s akustickými fonónmi optických materiálov. Interakcie prebiehajú cez veľmi úzke spektrálne rozsahy. Čo v skratke znamená, že SBS môžeme označiť ako úzkopásmové nelineárne efekty. Stokesové a signálové vlny sú šíriace sa v opačných smeroch, čím sa zamedzí vzniku dvoch vln s odlišnou vlnovou dĺžkou za predpokladu, že nie je vlnovo-dĺžkový odstup podstatne väčší ako je 20MHz. Ide o bežný jav. SBS produkuje „zisk“ ktorý sa vytvára v opačných smeroch ako sú smery šírenia užitočných signálov (čo znamená smerom k zdroju, ktorý je potrebné chrániť s optickým izolátorom). Tento zisk je možné vyjadriť pomocou koeficientu zisku Brillouinovho rozptylu. Koeficient zisku je nezávislý od vlnovej dĺžky.

Teória kontinuálnej vlny je používaná ako základný opis SBS, v ktorej intenzita čerpacej vlny a signálová vlna je zviazaná pomocou vlnových intenzívnych rovníc spôsobom, ktorý je znázornený na obrázku č. 2.3. [18]

$$\frac{dI_s}{dz} = -g_B I_s I_p + \alpha I_s, \quad (2.15)$$

$$\frac{dI_p}{dz} = -g_B I_s I_p - \alpha I_p, \quad (2.16)$$

Obrázok 2.3: Vlnové intenzívne rovnice

Výkony vln je možné charakterizovať prostredníctvom intenzít, a to nasledujúcim spôsobom:

$$P_p = I_s * A_e$$

V prípade, ak dôjde k stavu, že výkony Stokesových vln sú podstatne menšie ako sú výkony signálových vln je možné povedať, že nedošlo k vyčerpaniu signálových vln. Z toho dôvodu je možné časť rovnice ponechať zabudnutou a urobiť korekciu výkonovej rovnice s prihliadnutím na dĺžky optických vlákien L. Rovnica je znázornená na obrázku č. 2.4. [19]

$$P_s(0) = P_s(L) e^{-\alpha L \frac{g_B P_p(0) L_e}{A_e}} \quad (2.17)$$

$$P_p(L) = P_p(0) e^{-\alpha L} \quad (2.18)$$

Obrázok 2.4: Korekcia výkonovej rovnice

Obe vlny sa šíria opačným smerom, a preto signálové vlny je $z=L$ a Stokesové vlny $z=0$. [19]

2.4 Ramanov rozptyl

Ramanov rozptyl je nepružný jav, pri ktorom pri procese rozptylu môžu fotóny prijať alebo odovzdať energiu. Tým sa myslí, že môžu nadobudnúť odlišnú vlnovú dĺžku. V prípade zrážok fotónov s molekulami nepružného charakteru sa kinetická energia nemení ale iba vnútorná energia prítomných molekúl. Tento efekt sa prejavuje zmenou molekuly do jej vyššieho vibračného stavu prípadne nižšieho stavu. Rovnako ako pri Brillouinovom rozptyle, rozdiel medzi frekvenciou budiaceho a rozptýleného žiarenia sa označuje v tomto prípade ako Ramanov frekvenčný posun. Pre dokonalý záznam zmeny frekvencie rozptýleného žiarenia je nutné používať monochromatické žiarenie pre budenie Ramanového rozptylu.

Keď dôjde k neelastickej zrážke fotónu s molekulou, môže dôjsť k zmene energie fotónu zvýšením alebo znížením jeho frekvencie. Ak fotón svoju energiu zníži, odovzdá ju príslušnej molekule. Množstvo odovzdanej energie je dostatočné na to, aby molekula mohla prejsť do vyššieho vibračného stavu. Tento fotón má následne nižšiu energiu takže aj nižšiu frekvenciu. Oblasť ktorá v Ramanovom spektre definuje nižšie energetické oblasti sa nazýva Stokesová oblasť.

Ak dôjde naopak k zvýšeniu energie fotónu prijatím energie od molekuly, veľkosť energie odpovedá množstvu potrebnému na prechod molekuly z vyššieho vibračného stavu na nižší. Fotón získal po zrážke vyššiu energiu takže aj vyššiu frekvenciu. Oblasť ktorá v Ramanovom spektre definuje vyššie energetické oblasti sa nazýva Anti-Stokesová oblasť. [17], [18]

2.4.1 Stimulovaný Ramanov rozptyl

Ramanov stimulovaný rozptyl (SRS - Stimulated Raman Scattering) bol prvýkrát preukázaný rovnicou Chua a Scotta. Tieto rovnice boli študované teoreticky, a zároveň aj numericky.

Nelineárne javy môžeme obecné rozdeliť do dvoch skupín, a to molekulárnych častíc (vznikajúcich dôsledkom pôsobenia intenzívnych svetelných vln s fonónmi) a svetelných častíc (pôsobenie svetelných vln a fónov) v kremičitom médiu. Pri zmene a prenose elektromagnetickej energie zohráva dôležitú úlohu optické vlákno. Stimulovaný Brillouinov rozptyl – SBS (Stimulated Brillouin Scattering) a stimulovaný Ramanov rozptyl -SRS (Stimulated Raman Scattering) sú javy spôsobujúce vyššie spomenutý typ nelineárnych efektov. Ďalšie skupiny efektov vznikajúcich pri pôsobení optického výkonu na index lomu optického vlákna, ktorého úloha je v tomto prípade pasívna.

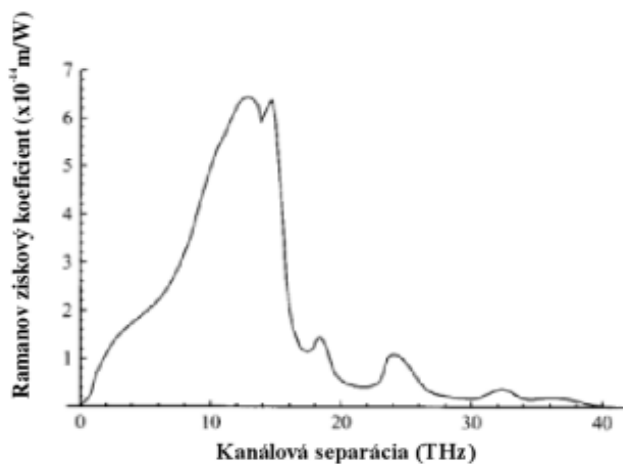
Dôvodom vzniku stimulovaného Ramanovho rozptylu je interakcia fotónov a molekúl kremenných skiel. Ak fotóny s energiou $E=h.f$ narazí do molekúl, ktoré majú vibračnú frekvenciu f , časť energie fotónu je absorbovaná molekulou. „Stokesov“ je označenie modifikovaného fotónu. Optické signálové vlny, ktoré sú injektované do vlákien sú zdrojmi integrujúcich fotónov odovzdávajúcich svoju energiu (ide o Stokesovú vlnu). Máme ju zobrazenú na obrázku č. 2.5.[19]



Obrázok 2.5: Prenos energie z kanálov s vyššou energiou do kanálov s nižšou energiou

Ked' sa naviažu dva alebo viaceré optické signály, ktoré majú rôznu vlnovú dĺžku do jedného vlákna, pôsobením Ramanovho rozptylu sa energia z kanála nižšej vlnovej dĺžky (majúca vyššiu frekvenciu a vyššiu energiu) presunie do kanála vyššej vlnovej dĺžky (má nižšiu frekvenciu a nižšiu energiu). Predstavuje nám to základ optického Ramanového zosilňovača a Ramanových laserov. Ramanov rozptyl máva širokopásmové efekty.

Na obrázku č. 2.6 môžeme vidieť aký je koeficient zisku Ramanovho rozptylu ako funkcia veľkosti kanálovej separácie. Koeficient zisku má maximum $6 \cdot 10^{-14}$ m/W pri vlnovej dĺžke 1,55 μm . Aj napriek pôsobeniu SRS medzi kanálmi vo WDM systéme, môže sa stať, že bude pôsobiť škodlivo, prípadne degradačne. Vieme ho použiť na simultánne zosilnenia viacerých optických kanálov zväčšujúcich celkový výkon v prenosovom systéme. Tým má vyšší dosah v rámci prenosovej siete.[19]



Obrázok 2.6: Koeficient zisku SRS v závislosti od veľkosti kanálovej separácie

Ak ožiarime vzorku silnými laserovými pulzmi, ktoré majú elektrické pole 10^9 V/cm dôjde ku transformáciám väčšieho množstva svetla. Tým sa zvýši pomer signálu k šumu. Stimulovaný Ramanov rozptyl môžeme označiť ako príklad nelineárnej Ramanovej spektroskopie. Veľmi silné laserové pulzy, ktorých sila elektrického poľa je väčšia ako 10^9 V/cm transformujú približne 50% energie laserov na koherentné zväzky svetla, kde Stokesová frekvencia je $V_0 - \nu_p$. Zosilnený je primárne len

Stokesov signál, ten najsilnejší. Pri stimulovanom Ramanovom rozptyle nemôžeme pozorovať ostatné signály. [18]

3 Systém DSTS

3.1 Popis technológie DSTS

DSTS systém meria teplotu pomocou optického vlákna miesto termočlánkov alebo termistorov, ako sa zvyčajne používali v minulosti. Pre získanie presných hodnôt teploty sú nákladovo efektívnym prostriedkom práve systémy DSTS.

Do optického vlákna je naviazaný laserový impulz cez priamy väzobný člen. Svetlo je spätne odrazené ako impulz šíriaci sa vláknom vzhľadom ku zmenám v hustote a zložení, ako aj molekulárnym a rozsiahlejším vibráciám. V homogénnom vlákne sa intenzita spätne odrazeného svetla rozkladá exponenciálne s časom.

Na základe znalostí rýchlostí šírenia sa svetla v optickom vlákne a času spätne odrazeného alebo rozptýleného svetla môže DSTS systém určiť vzdialenosť. V optickom vlákne dochádza k viacerým rozptylom a odrazené svetlo sa skladá z rôznych spektrálnych zložiek v dôsledku rôznych mechanizmov interakcie medzi šíreným svetelným pulzom a optickým vláknom.

Tieto spätne rozptýlené spektrálne zložky zahŕňajú Rayleighové, Brillouinové a Ramanové vrcholy a pásma.

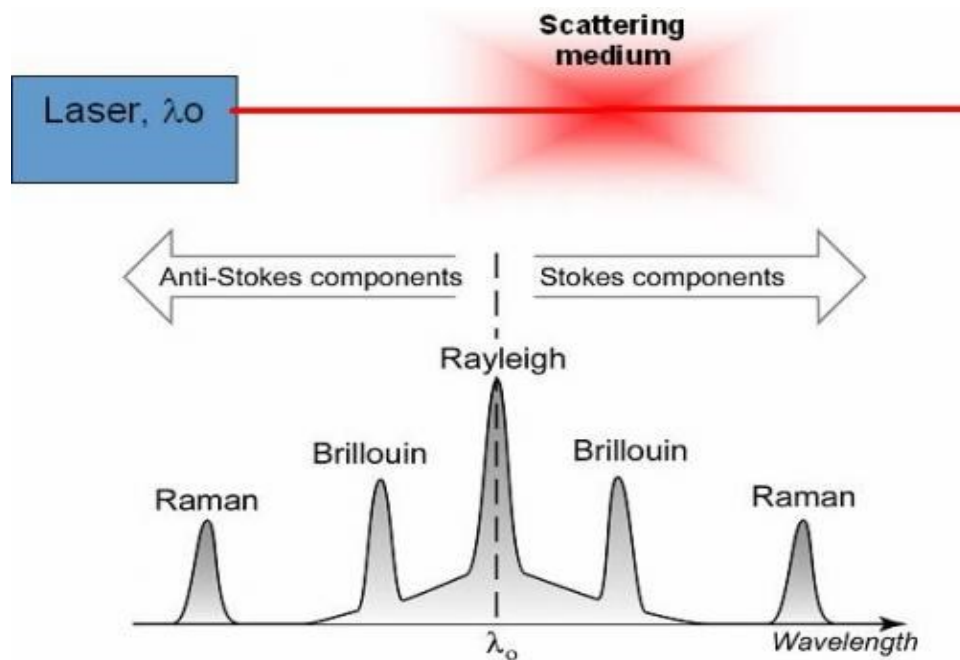


Obrázok 3.1: DSTS systém DITEST STA-R

Najsilnejšia rozptýlená zložka v dôsledku kolísania hustoty a zloženia je Rayleighová rozptýlená zložka a zároveň má rovnakú vlnovú dĺžku ako primárny laserový pulz. Rayleighová zložka riadi hlavný sklon krivky útlmu intenzity a môže byť použitá na identifikáciu náhlych zmien a heterogenosti pozdĺž vlákna. Táto zložka nie je citlivá na teplotu.

Mriežkovými vibráciami zo šíriaceho sa svetleného pulzu sú spôsobené späťne odrazené Brillouinové zložky. Tieto vrcholy sú spektrálne tak blízko k primárnemu laserovému pulzu, že je ťažké oddeliť zložky Brillouina od Rayleighova signálu.

Intenzita Anti-Stoke oblasti je menšia ako Stoke oblasť, ale je silne závislá na teplote vzhľadom k tomu, že intenzita Stoke časti súvisí teplotou len slabo. Výpočtom pomeru Anti-Stoke k Stoke je možné získať presné hodnoty merania teploty. Kombináciou tejto techniky merania teploty s meraním dĺžky vlákna odrazom svetla, DSTS poskytuje meranie teploty postupne po celej dĺžke vlákna. [20]



Obrázok 3.2: Rozptyľujúce zložky v optickom vlákne

V optických vláknach vzniká v dôsledku interakcie svetla a akustických vibrácií SBS, ktorý je rovnaký ako stimulovaný Ramanov rozptyl. Stretávame sa tu s dvoma rozdielmi, a to :

- Ramonov zisk je o približne dva rady nižší ako Brillouinov zisk
- Frekvenčné posuny a šírky pásma v prípade Stimulovaného Ramanovho rozptylu sú omnoho väčšie, ako v prípade Brillouinov frekvenčný posun.

Keď v_A je rýchlosť vzduchu v prostredí a Θ bude uhlom medzi čerpacou vlnou a Stokesovými poliami. Θ a π sú rovné nule v jednomódovom optickom vlákne, Brillouinov frekvenčný posun je charakterizovaný vzťahom $\nu_B = 2nv_A / \lambda_p$. Typickými hodnotami frekvenčného posunu v optických vláknach na 1550 nm sú orientačne medzi 9-12 GHz.

DSTS nám umožňuje rýchle a presne meranie deformácie a teploty až do vzdialenosti 30 kilometrov. Technika je založená na báze SBS (Stimulovaného Brillouinovho rozptylu) na meranie jednovodivých optických senzorových vlákien a ťaží z vysokého priestorového rozlíšenia a kombinácie

optických rozpočtov so stabilitou, ktorá je dlhotrvajúca. Merania sa uskutočňujú na princípe aktuálneho času 24/7.

Význam Brillouinovho zisku $g(\Omega)$ spočíva v tom, že na základe jeho hodnôt môžeme posúdiť väčšinu obmedzení, či vlastnosti stimulovaného Brillouinovho rozptylu. Môžeme ním určiť kritické výkony SBS, popísať spektrum Brillouinovho zisku, tiež fázové posuny optických čerpacích signálov indukovaného SBS. Zisk spektra je možné ovplyvňovať v optickom vlákne prostredníctvom mechanického napätia, či teplotou pozdĺž vlákna. Zmenou v návrhu vlákna ľahko ovplyvníme samotné spektrum zisku. Nelineárne javy optických vlákien sú využívané širokou škálou systémov a zariadení. Vlastnosťami ako je napríklad úzkopásmové spektrum Brillouinovho zisku (BSG - Brillouin gain spectrum), či vysoký nelineárny Brillouinov koeficient môže spôsobiť SBS vo vláknach, ktoré sú ideálne na konverziu vlnovej dĺžky, frekvenčnú selektivitu, zosilniť alebo potlačiť vlnu. [13], [21]

4 Vypracovanie

4.1 Postup

Každá jednotlivá časť výskumu, ktorá sa merala bola pozorovaná v závislosti na čase. Určili sa tri časové závislosti a to moment, 48 a 168 hodín. Sledovalo sa teda správanie fixačných pásovk a následne ich vplyv na fixované optické vlákno pomocou systému DSTS systému DITEST STA-R™.

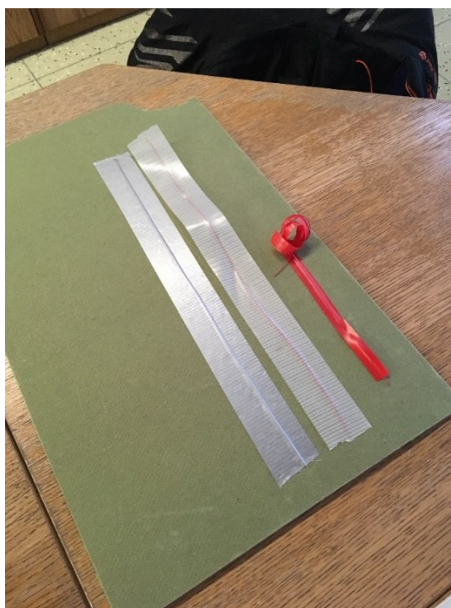
Po dôkladnej selekcii podkladových a fixačných materiálov sa pristúpilo k prvotnému testovaniu odtrhovej sily v závislosti na čase. Na každý podkladový materiál boli nalepené vzorky zafixovaných vlákien konkrétnou páskou. Skúmala sa odtrhová sila vlákna v ťahu z pod fixácie samotnej fixačnej pásky na danom materiáli. V tejto časti experimentu pásky ukazovali svoje vlastnosti na základe ktorých bolo neskôr možné chápať ďalšie správanie pri meraní s DSTS systémom. Výsledky odtrhovej sily sú popísané tabuľkami .

Po zmeraní odtrhových síl jednotlivých pásovk sa pokračovalo zostavením prenosovej trasy ktorá kombinovala všetky vybrané podlahové materiály a fixačné pásky. Celá testovaná trasa bola dlhá približne 246 metrov. Jej účelom bolo poskytnúť vizuálne zobrazenie jednotlivých vplyvov fixačných pásovk na optické vlákna pri daných materiáloch prostredníctvom analýzy DSTS systému. Brillouinovské frekvencie znázorňovali sledovaný jav ktorý reprezentoval lepiacu účinnosť fixačnej pásky. Výsledky sú rovnako popísané ukázkovými grafmi v texte a v prílohách A-F.

Poslednou úlohou bolo hľadanie závislosti medzi odtrhovou silou a Brillouinovskými frekvenciami. Vysoká príľnavosť a lepivosť mala za následok podobu zvýšených Brillouinovských frekvencií. Tieto frekvencie mohli priamo úmerne korelovať s veľkosťami odtrhových síl. Analýza tohto predpokladu je ukončuje praktickú časť diplomovej práce.

4.2 Výber materiálov

Po výbere materiálov sa testovala ich schopnosť vytvoriť dostatočný fixačný účinok medzi fixačnou páskou a podlahovým materiálom. Cieľom bolo vybrať do výskumu len tie materiály s ktorými má zmysel pracovať. Každá páska lepí totiž inak v závislosti na konkrétnom materiáli. Pásky boli nalepené na podlahové materiály a s odstupom troch dní bolo možné povedať, ktoré pásky a materiál bude zaradená do testovania a ktoré nie. Ako nedostatočný podlahový materiál pre tento test sa ukázal sololit a elektroizolačná PVC páska tesaflex® 53947.



Obrázok 4.1: Fixačná páska Tesaflex® 53947(červená) a materiál sololit

4.2.1 Podlahové materiály

Pri voľbe podlahových materiálov sa vybralo 6 bežných materiálov, ktoré sú v praxi široko využívané a s vysokou pravdepodobnosťou môžu predstavovať práve podkladový podlahový materiál na ktorý bude potrebné vykonať fixáciu optických vláknových senzorov. Konkrétne materiály popisuje tabuľka č. 4.1.

číslo	Druh materiálu	Obchodné označenie
1	Vinyl	Thermofix vinylové dielce
2	Drevo (masív)	RealWood klik - Dub rustikal (masívne dubové lamely)
3	Laminát	Quick- Step Laminát
4	PVC lino	Podlahová krytina Elektrostatik Dynamik
5	Marmoleum	Forbo Marmoleum
6	Sádrokartón	Sádrokartonová doska KNAUF WHITE

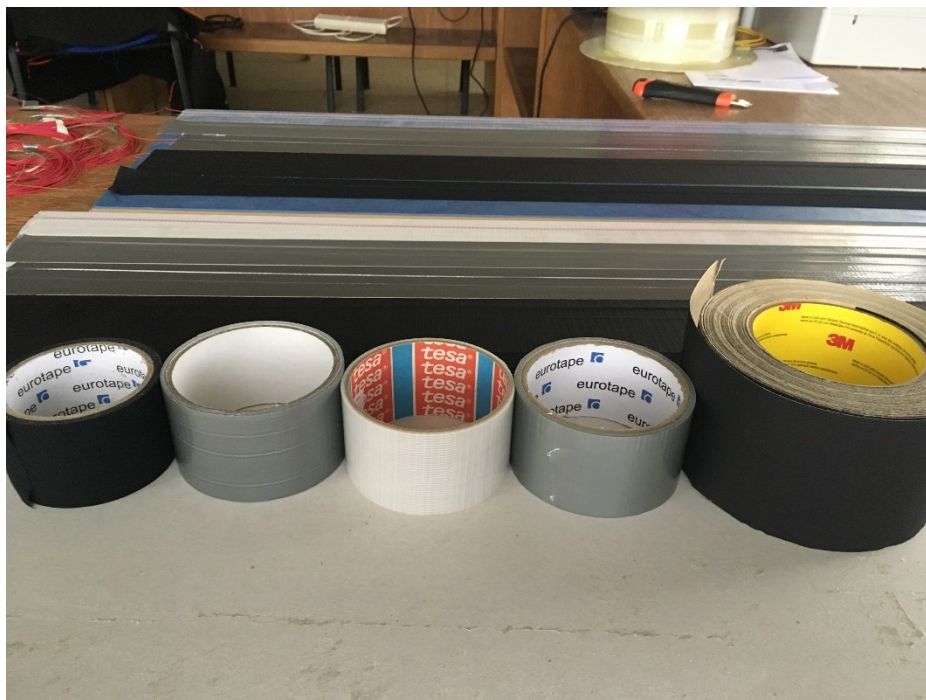
Tabuľka 4.1: Podlahové materiály

4.2.2 Fixačné pásy

Pásy boli vybrané na základe ich použitia a tiež dostupnosti. Kvôli teplotnému testovaniu, ktoré sa riešilo v druhej „sesterskej“ diplomovej práci sa od niektorých požadovala aj teplotná odolnosť. Ďalej sa prikladal dôraz vo výbere taktiež na vysokú odtrhovú silu alebo odolnosť voči vode. Jednotlivé vlastnosti konkrétnych fixačných pásov je možné dohľadať v priložených katalógových listoch.

číslo	Druh materiálu	Obchodné označenie
1	Páska vystužená tkaninou	TESA 53689
2	Vystužená textilná sieťová páska	Duct Tape (Eurotape)
3	Tkaninová laminovaná páska	Promipáska univerzálna
4	Obojsmerne vystužená hliníková laminovaná páska	VentureTape 1553 CW
5	Textilná páska	Lemovka na koberce

Tabuľka 4.2: Fixačné pásky



Obrázok 4.2: Fixačné pásky

Zľava: Lemovka na koberce, Promipáska univerzálna, TESA 53689, Duct Tape (Eurotape), VentureTape 1553 CW.

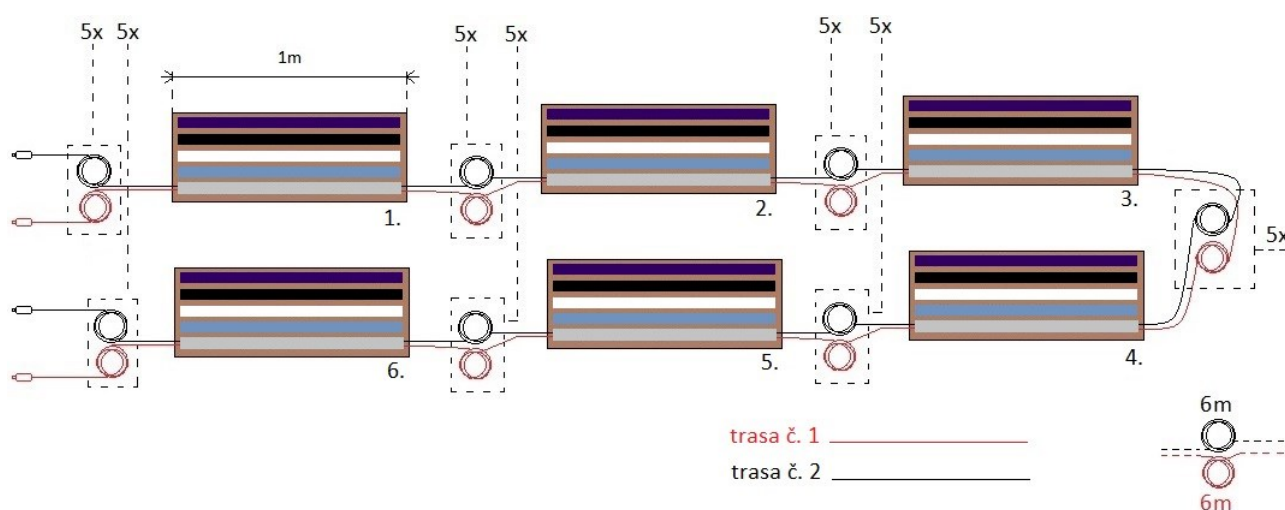
4.2.3 Optické vlákna

Počas celého výskumu sú používané dve optické vlákna. Tieto vlákna nie sú primárne určené pre senzorové aplikácie ale dostačujúce pre dané merania v tejto práci.

číslo	Výrobca	Štandard
1	OFS – Fukurawa Company	G.652d
2	Corning	G.652a

Tabuľka 4.3: Optické vlákna

4.3 Schéma

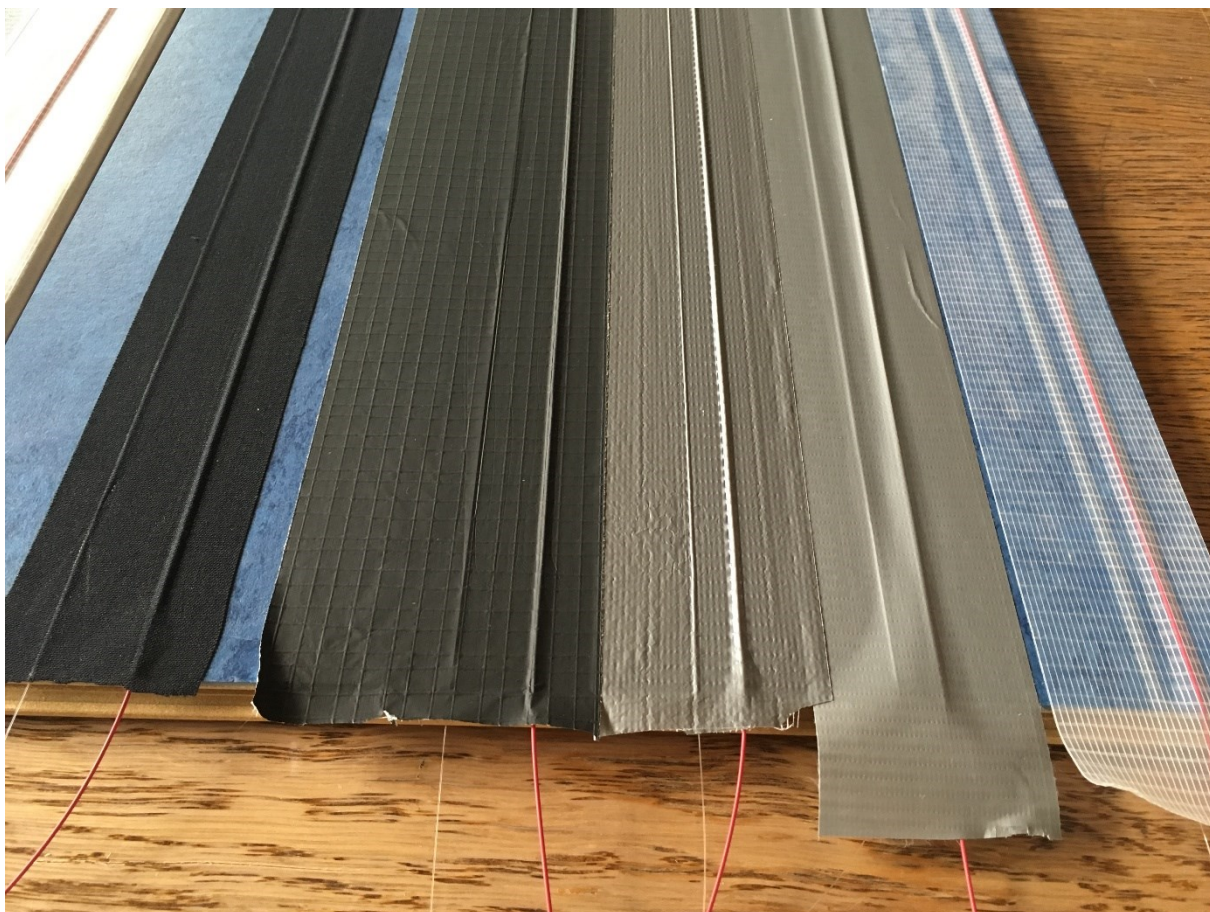


Obrázok 4.3: Schéma testovanej trasy

Celé zapojenie sa skladá z DSTS systému, testovanej optickej trasy a zaradného optického vlákna.

Testovaná optická trasa pozostávala zo 6tich podlahových materiálov. Pozdĺž každého materiálu viedlo 5 fixačných pások, ktoré pod sebou fixovali 2 rôzne optické vlákna. Keďže fixačné pásy boli dostatočne široké a užitočná plocha podlahových materiálov malá, zhodlo sa na tom, že fixácia oboch vlákien jednou páskou bude efektívne riešenie. Dve susedné optické vlákna mali od seba dostatočnú vzdialenosť, ktorá umožňovala každému osobitnú fixáciu.

Samotné podlahové materiály museli spĺňať minimálnu dĺžku 1 meter kvôli rozlíšiteľnosti DSTS systému. Medzi každým prechodom optického vlákna z jedného materiálu na ten ďalší bolo namotáných približne 5 metrov vlákna v špirálke a to znova z dôvodu neskoršieho prehľadného grafického rozlíšenia na DSTS systéme. Celková dĺžka trasy bola približne 246 metrov bez započítania zaradného vlákna.



Obrázok 4.4: Fixované optické vlákna na marmoleum

Optické vlákno postupne prechádza 6tmi rôznymi materiálmi a na každom je uchytené rovnakou fixačnou páskou. Po prechode z posledného materiálu na prvý sa systém opakuje s ďalšou testovanou páskou. Trasu začína a aj ukončuje DSTS systém.

DSTS systém „vidí“ približne len do polovice trasy, preto bolo potrebné za testovanú trasu zaradiť minimálne tak dlhé zaradné vlákno ako je dĺžka samotnej testovanej trasy.

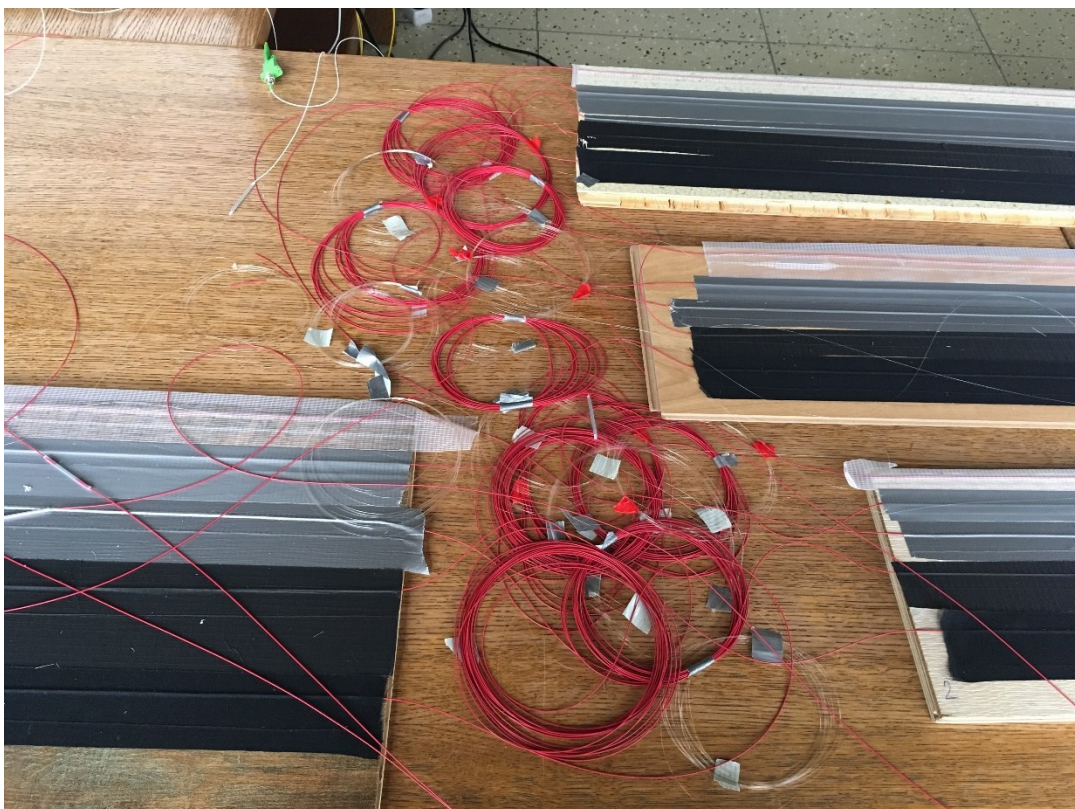
4.4 Pracovisko

Celý výskum bol časovo náročný proces. Testovalo sa 6 materiálov, 5 fixačných pások a 2 optické vlákna. Práve použitie distribuovaného systému v tomto meraní pomohlo prispieť k časovej úspore celého experimentu. Výhodou bolo, že miesto niekoľko desiatok úprav koncov vlákna, fixácií, meraní a následne odliepaní jednej vzorky pásky od materiálu, mohlo byť meranie sústredené a odmerané práve do jediného kroku pre každé vlákno.



Obrázok 4.5: DSTS systém s testovanou optickou trasou

Skonstruovala sa teda trasa vzoriek podlahových materiálov, ktoré kombinovali s obidvoma optickými vláknami a fixačnými páskami. Po celý čas zhotovovania sa kládol dôraz na bezchybnú fixáciu lepiacej pásky na vlákno. Materiály boli očistené a odmastnené, nalepené pásky zbavené prípadných vzniknutých vzduchových bublín a dohliadalo sa na dokonalé obopnutie lepiacej pásky na vlákno. Keďže jedno vlákno prechádzalo 5 krát cez jeden podkladový materiál s podmienkou 5 metrového „medzivlákná“, bolo ťažké neskôr udržiavať štruktúrovanú kabeláž na tak obmedzenom priestore. S krehkým vláknom G.652a, ktoré malo len primárnu ochranu bola navyše veľmi obtiažná manipulácia. Aj keď pohľad na trasu môže pôsobiť chaoticky a pre zaujímavosť bol útlm približne 500 metrovej trasy 13 dB, jej prevedenie bolo plne funkčné a vhodné pre analýzu DSTS systémom.



Obrázok 4.6: Špirálky optických vlákien medzi materiálmi

5 Odtrhová sila fixačných pások

Tento experimentálny pokus mal za úlohu nájsť spojitosť medzi odtrhovou silou fixačných pások a Brillounovskými frekvenciami zaznamenanými DSTS systémom. Brillounovská frekvencia totiž závisí od tlaku a príľnavosti samotnej pásky na optické vlákno. Čím je tento tlak pásky vyšší, tým je vyššia aj frekvencia. Dostatočný tlak a príľnavosť pásky je predpoklad pre žiadúce dlhodobé a spoľahlivé uchytenie optického vlákna. Tento fakt však nemusí byť vo všetkých prípadoch pravidlom.

Ak by sa táto hľadaná závislosť ukázala, mohlo by to napomôcť odhadovať správny výber fixačnej pásky. V praxi by ďalej stačilo otestovať túto odtrhovú silu a technik vykonávajúci fixáciu optického vlákna by vedel, že vybraná páska s dostatočnou odtrhovou silou, má zároveň aj dostatočné fixačné vlastnosti pre danú aplikáciu. V opačnom prípade kvalitu fixačnej účinnosti lepiacej pásky je lepšie zmerať za pomoci DSTS systému na báze Brillouinovských frekvencií. Týmto systémom by však musela firma disponovať, čo by pre ňu nemuselo byť finančne výhodné pokiaľ by existovala v praxi takáto metóda testovania pások.

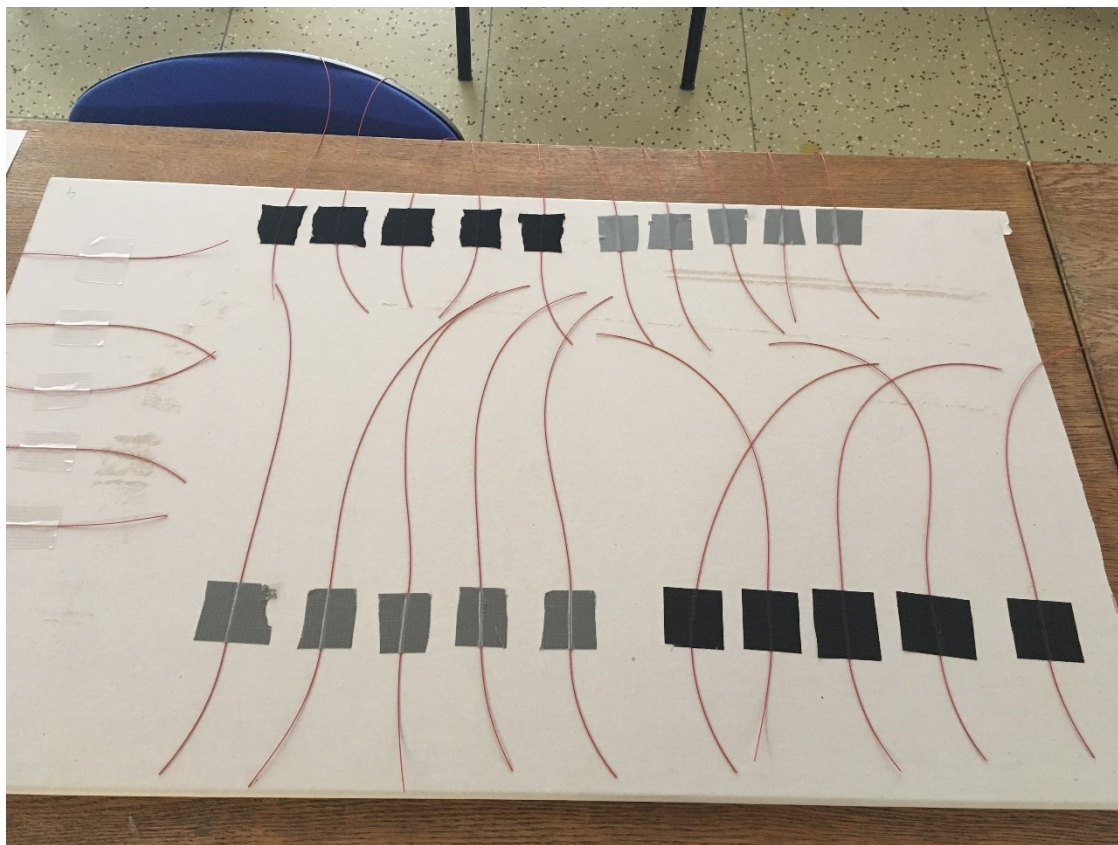
Problematiku uchytenia vlákien bolo možné pochopiť až počas samotného testovania odtrhovej sily jednotlivých fixačných pások na daných materiáloch. Kvalita uchytenia optického vlákna závisí od ďalších menej známych faktorov. Určité vlastnosti uchytenia ovplyvňuje napríklad štruktúra materiálov na ktoré sú vlákna prichycované, samotný materiál ochrany vlákna až po štruktúru fixačnej pásky. Tá navyše môže obsahovať rôzny tvar dezénu lepidla na vnútornej strane alebo rozdielnu hustotu nanoseného lepidla. Ďalej sa musí brať do úvahy spôsob akým sa lepiaca páska aplikuje na povrch. Existujú totiž pásy na ktoré sa navyše musí vyvinúť ťah a jej účinky lepenia sa prejavujú až po určitom čase, keďže páska lepí tým, že sa snaží stiahnuť do pôvodného pokojového stavu.

Neskôr podľa dosiahnutých výsledkov bude možné vidieť, že určité pásy časom na svojej lepidlosti naberajú zatiaľ čo iné na svojej účinnosti strácajú. Je to spôsobené technológiou výroby pásky a tiež chemickým zložením použitého lepidla, ktorým páska disponuje.

Je užitočné spoznať tieto vlastnosti vybraných fixačných pások z praktického dôvodu. Napríklad v situáciách kedy bude potrebné zmonitorovať skúmanú plochu v rámci jedného momentu bude stačiť keď sa použije vybraná páska, ktorá nemusí dosahovať nadštandardné kvality príľnavosti ale bude predstavovať finančne nenáročné riešenie. V prípadoch, ktoré budú vyžadovať monitorovanie vlastností skúmanej plochy z dlhodobého hľadiska bude nutné správne vybrať fixačnú pásku na daný materiál, ktorá si udrží svoje lepidlo a zaisťuje správnu fixáciu počas celej doby monitorovania.

5.1 Testovanie odtrhovej sily

Meranie prebiehalo v 3 časových intervaloch (moment, 48 hodín a 168 hodín). Každá páska je iná a potrebuje iné množstvo času na prejavenie sa jej plnohodnotnej účinnosti fixácie, prípadne na prejavenie jej neúčinnosti. Na každom materiáli sa testovala každá fixačná páska pre obe použité vlákna. Pre štatistickú správnosť bolo testovaných minimálnych 5 vzoriek z každej pásky. Vyšší počet vzoriek nebol z časového hľadiska potrebný, nakoľko celý pokus bol braný ako experiment a nie hlavný predmet výskumu tejto práce. Potrebné rozmery testovaných vzoriek fixačných pásek zaberali značnú plochu a rovnako bol tento experiment obmedzovaný samotnou plochou veľkostí podkladových materiálov.



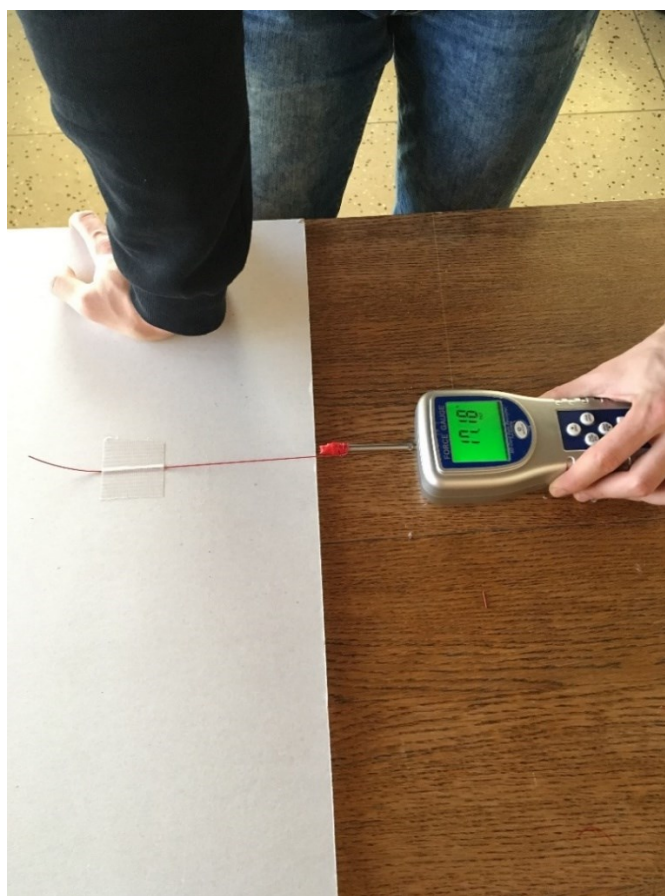
Obrázok 5.1: Vzorky pre testovanie odtrhovej sily na sadrokartóne

Pre správne pochopenie, cieľom nebolo zisťovať potrebnú silu na roztrhnutie samotnej fixačnej pásky. Tá už je udávaná výrobcom. Čo však nie je udávané výrobcom a bolo cieľom tohto experimentu, je sila, ktorá dokáže uvoľniť špecifický predmet z pod fixačnej pásky na určitom podklade. Presnejšie, hľadala sa veľkosť [N] sily v ťahu samotného vlákna, ktorá bola potrebná na uvoľnenie vlákna z pod fixačnej pásky. Meranie sa sústreďovalo na nájdenie určitej závislosti medzi veľkosťou tejto odtrhovej sily a neskôr veľkosťou jej Brillouinovej frekvencie. Je známe, že Brillouinová frekvencia závisí od

prilnavosti a tlaku na vlákno jeho fixačnej pásky. Treba brať do úvahy, že pásky, ktoré síce môžu vplývať týmito schopnosťami na vlákno a ďalej na Brillouinovskú frekvenciu, môžu a nemusia mať priamo úmernú veľkosť odtrhovej sily. To znamená, že páska, ktorá vykazuje vysoké Brillouinové frekvencie môže vyvíjať vysoký tlak na fixované optické vlákno ale nemusí ho rovnako aj držať zafixované proti jeho vyšmyknutiu.

Počas testovania odtrhnutia vlákna z pod fixačnej pásky sa zistilo, že k niektorým pokusom sa musí započítať ďalšia tzv. zostatková odtrhová sila. Tá sa prejavovala po odtrhnutí vlákna kedy vlákno bolo stále držané páskou ale svojou lepivosťou ešte kládlo odpor k skokovému vytrhnutiu vlákna z pod fixačnej pásky. Tento zostatkový efekt bol spôsobený charakteristikou spôsobu akým páska pracuje.

Pri páskach, ktoré obsahujú hrubú vrstvu nanoseného lepidla môže trvať, kedy toto lepidlo stvrdne. Keď je vlákno vytrhnuté určitou odtrhovou silou, môže sa stať, že časť nedostatočne zaschnutého lepidla stále bráni vláknu k bezodporovému vyšmyknutiu z pod fixačnej pásky. Okrem nevyhnutnej zostatkovej sily vynaloženej na vytiahnutie vlákna z pod fixačnej pásky sa to prejavovalo aj povlakom lepidla, ktoré ostalo nanesené na časti vlákna, ktorá sa nachádzala pod páskou. Naopak lepidlo uschne pri páskach, ktorých lepivé vlastnosti sa prejavujú ihneď alebo dosiahnu potrebný časový interval pre svoju maximálnu mieru účinnosti lepenia. Pri odtrhovaní vlákna postačí len odtrhový moment a vláknu už nebráni nič k voľnému vytiahnutiu.

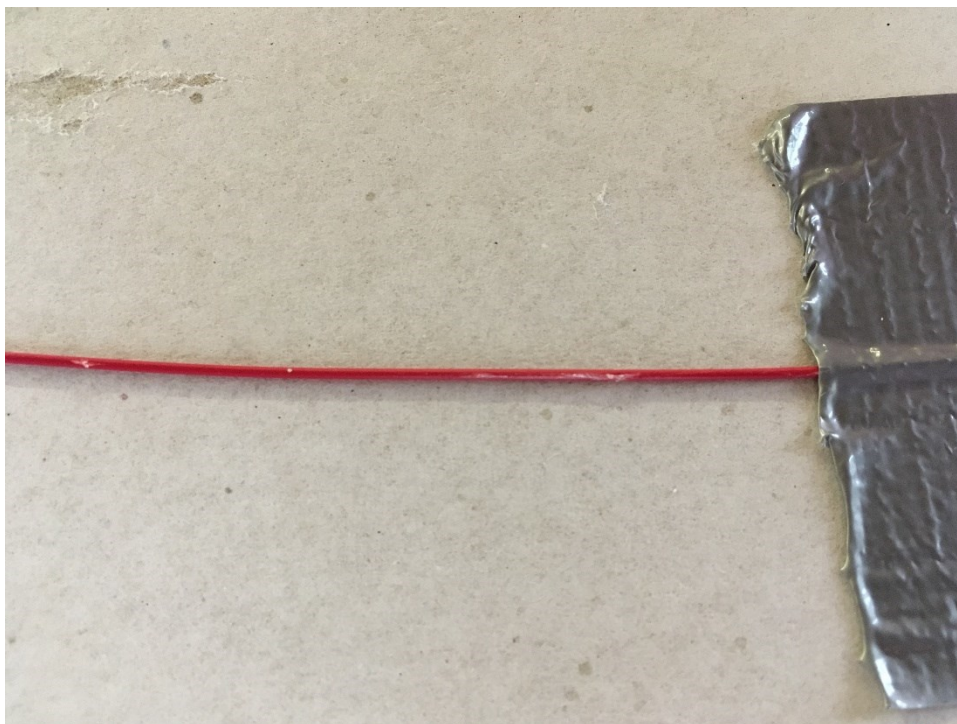


Obrázok 5.2: Meranie odtrhovej sily pomocou silomeru

Nemožno zanedbávať ani samotný materiál primárnej alebo sekundárnej ochrany optického vlákna. Každá fixačná páska reaguje inak s rozličnými povrchmi. Materiál optického vlákna môže na celkovej kvalite uchytenia pridávať alebo ho tiež oslabovať. Kvalita uchytenia na špecifické materiály závisí od užitočnej styčnej plochy, resp. plošného kontaktu pásky s fixovaným predmetom a tiež typu materiálu z ktorého je daný materiál vyrobený.

Ďalším možným faktorom ktorý mohol vplývať na túto odtrhovú silu bola štruktúra podkladového materiálu na ktorý sa uchyťovalo optické vlákno. Každý podlahový materiál má inú štruktúru povrchu. Niektorú je možné vidieť voľným okom prípadne cítiť na dotyk, inú možno spozorovať len po detailnom preskúmaní. Je logické, ak by sa vlákno uchycovalo na materiál drsného charakteru ako napríklad brusný papier, že by tento povrch kládol vyťahovanému vláknu ďalší značný odpor. Pre použité podlahové materiály však kladený odpor nezohrával významnú rolu. Je to najmenej významný faktor zo všetkých ale pre určité uchytenia na špecifické materiály s ním treba počítať. Podľa výsledkov pokusov sa tento teoretický predpoklad v rámci tejto práce nepotvrdil.

Po pár pokusoch sa ukázalo, že z dôvodu zanechania rovnakých podmienok pre všetky vzorky, nebude možné používať rovnaký kus vlákna pre ďalšie merania. Na vlákne sa po odlepení fixačnej pásky nachádzala jej vrstva lepu, čo stávalo vlákno pri ďalších pokusoch do výhody, pretože tak bolo lepšie fixované. Taktiež na podlahovom materiáli ostal lepidlový povlak z predošlého lepenia. Z uvedeného dôvodu sa pristúpilo k realizácii merania odtrhovej sily spôsobom použitia zakaždým nového vlákna. Rovnako sa neopakovala ani plocha materiálu, na ktorej prebiehalo predchádzajúce lepenie.



Obrázok 5.3: Detail zobrazujúci povlak po vytiahnutí optického vlákna

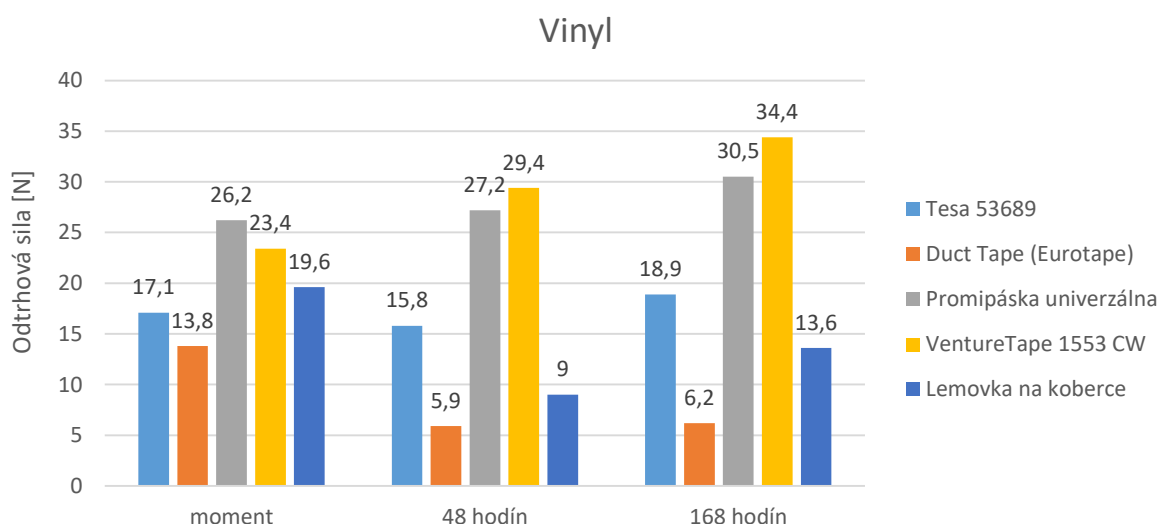
5.2 Spracovanie výsledkov odtrhových síl

Aj keď nie všetky pásky majú priamo úmerný trend z závislosti v čase, je tu možné vidieť akú si zachovávajú tendenciu lepivosti. Každý cyklus pások sa lepil osobitne až po odmeraní toho predošlého cyklu. Výkyvy v grafe sú teda spôsobené tým, že merané vzorky boli lepené v iný deň. Treba brať do úvahy, že na podklad boli lepené ručne a pochopiteľne nikdy nie rovnakým spôsobom, čo bolo spôsobené ľudským faktorom.

Zhodnotenie účinnosti pások na jednotlivých materiáloch v čase je vypočítané z ich priemeru jednotlivých časových bodoch na danom materiáli $[(\text{moment} + 48\text{h} + 168\text{h})/3]$. V tomto prípade sa bude používať priemerné minimum a priemerné maximum. Jednotlivé tabuľky týchto priemerov sú uvedené v prílohách G a H.

5.2.1 Optické vlákno G.652d

Materiál č.1

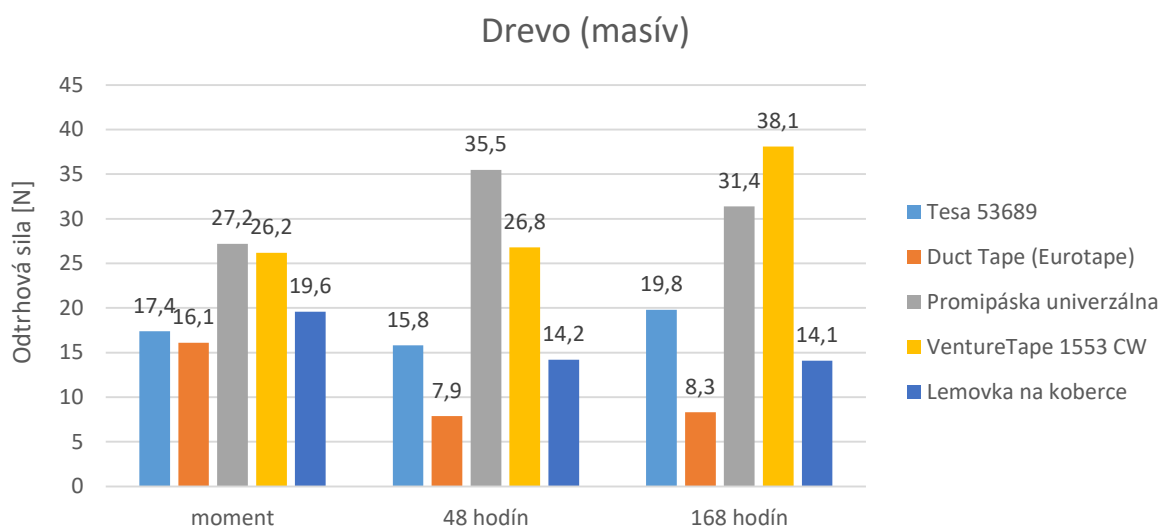


Obrázok 5.4: Graf odtrhovej sily v čase na materiáli vinyl

Vinyl ako materiál pôsobí svojou povrchovou štruktúrou nepravidelne. Pri dotyku aj pohľadom sú zjavné vrúbky, ktoré sú predpokladom, že neumožnia páskam prejaviť svoju účinnosť na 100 percent. Obecne však pokiaľ materiál vykazuje určité povrchové nerovnosti, možno tiež predpokladať, že tieto nerovnosti môžu tvoriť prekážku vyťahovanému vláknu. Závisí od smeru dezénu a štruktúry povrchu. A to za ďalšieho predpokladu ak na vlákno pôsobí dostatočne veľký tlak fixačnej pásky. V prípade menšieho tlaku sa možno v tejto teórii opierať o fakt, kde tvorí pre vlákno svojou štruktúrou nedostatočnú priľnavú plochu a tým pádom mu nekladie tak vysoký odpor pri trení.

V porovnaní s ostatnými materiálmi, na vinyle dosahovala páska Promipáska univerzálna najmenšiu hodnotu odtrhovej sily. Rovnako najmenšiu hodnotu tu dosahuje v porovnaní s ostatnými materiálmi aj Lemovka na koberce. Zostatkovou silu bolo nutné vyvinúť pri všetkých páskach pre moment odlepenia. Po 48 hodinách svojou zostatkovou silou bránila už len Promipáska univerzálna. Ostatné pásy stihli vyschnúť a vlákno bolo možné vytrhnúť z pod pásky skokovo. V časovom horizonte jedného týždňa neprejavovala žiadna páska ďalší zostatkový odpor.

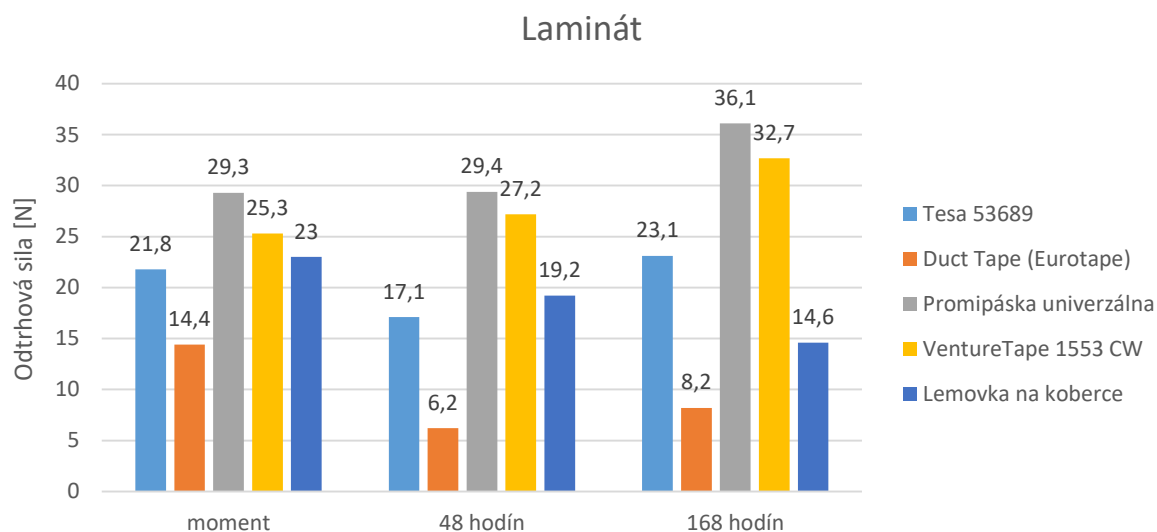
Materiál č. 2



Obrázok 5.5: Graf odtrhovej sily v čase na materiáli drevo

Svoje kvality si konštantne držia pásy Promipáska univerzálna a VentureTape 1553 CW, ktoré v každom časovom bode vykazujú nadpriemernú účinnosť lepivosti. VentureTape dokonca nekládla už žiadnu zostatkovú silu ani v prvom momente odtrhávania vlákna. Ostatné pásy bolo možné vytáhať skokovo až od horizontu 48 hodín a dlhšie. Čo je síce bezvýznamné vzhľadom k hodnotám účinnosti ale je nutné podotknúť, práve na tomto materiáli dosahovala páska Duct Tape svoje priemerné maximum z pomedzi ostatných materiálov.

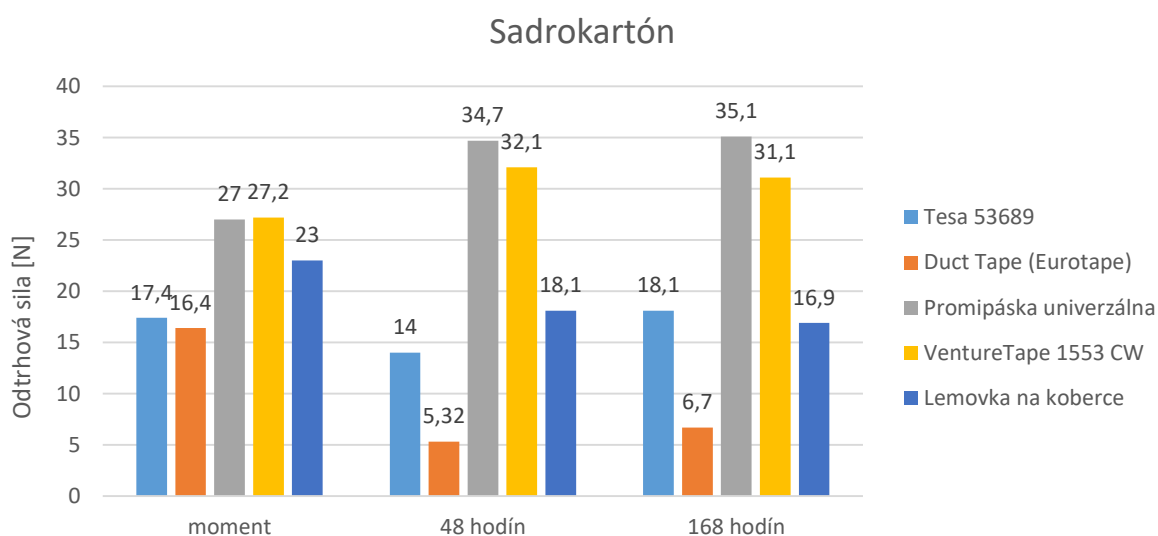
Materiál č. 3



Obrázok 5.6: Graf odtrhovej sily v čase na materiáli laminát

Pri lamináte ukážkovo prejavujú svoj exponenciálny trend pásky Promipáska univerzálna, VentureTape 1553 CW a Lemovka na koberce. Fixačná páska Tesa 53689 tu ukázala svoje priemerné maximum v porovnaní na ostatných materiáloch. Naopak VentureTape 1553 CW vykazuje priemerné minimum. Promipáska univerzálna a VentureTape 1553 CW dosahujú znova vysoko spoľahlivé fixačné hodnoty na danom materiáli. Promipáska univerzálna však kládla ešte v časovom horizonte 48 hodín odpor v podobe zostatkovej odtrhovej sily.

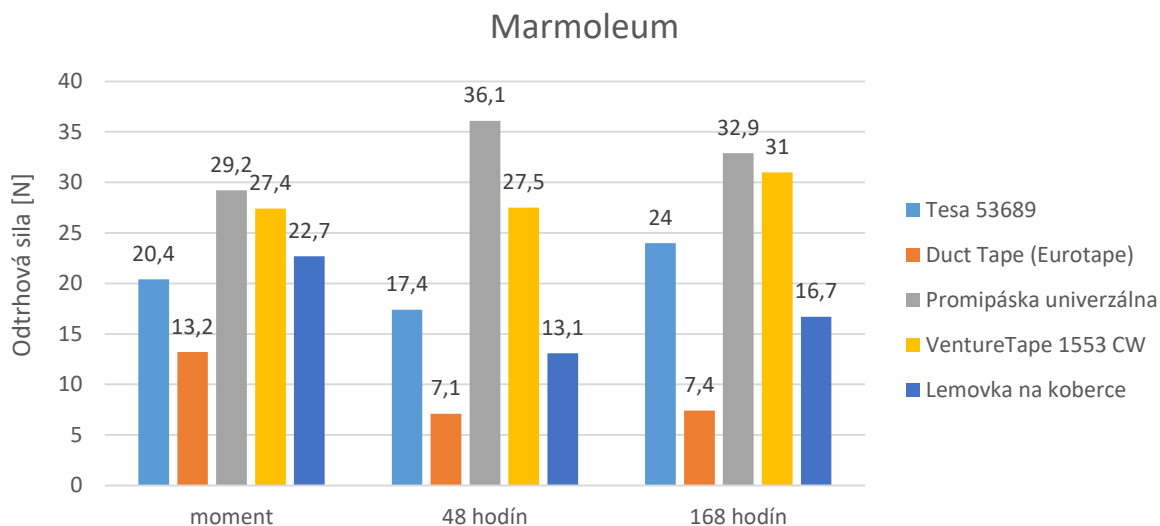
Materiál č. 4



Obrázok 5.7: Graf odtrhovej sily v čase na materiáli sadrokartón

Naopak oproti laminátu, sadrokartón predstavoval pre pásku Tesa 53689 priemerné minimum v porovnaní s ostatnými páskami. Pre Lemovku na koberce sa sadrokartón javil ako vhodný materiál nakoľko preskočila asi o 5 N svojím priemerným maximom priemery na ostatných materiáloch. . Pri tomto materiáli sa pri odtrhovaní samotnej pásky nachádzala hrubá vrstva povrchu sadrokartónu, ktorá sa zlepila spolu s páskou.

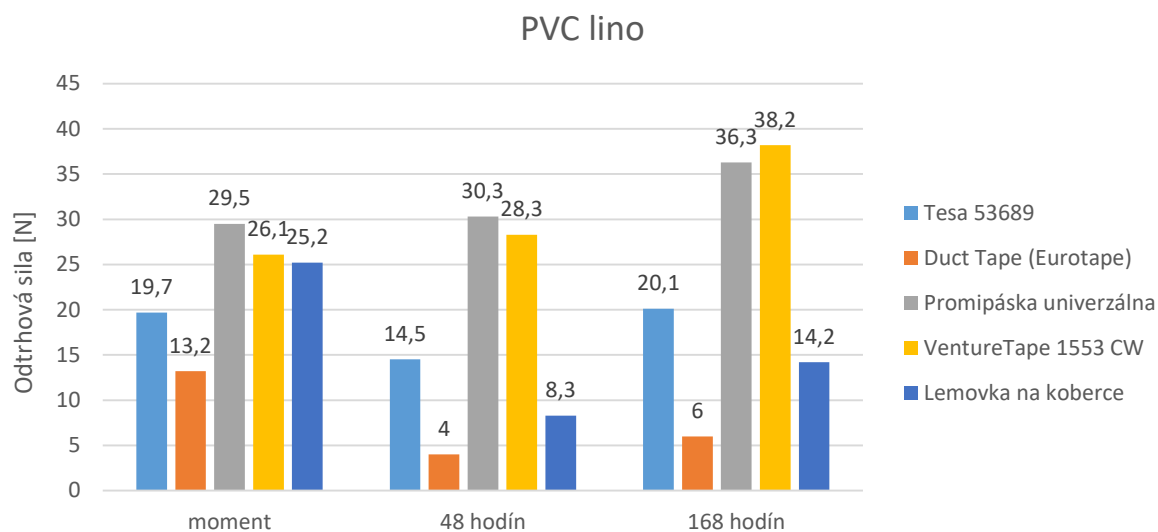
Materiál č. 5



Obrázok 5.8: Graf odtrhovej sily v čase na materiáli marmoleum

Asi najviac spoľahlivá páska ktorou boli vlákna fixované Promipáska univerzálna dosahovala svoje priemerne maximum práve na tomto materiáli. Jeho hodnota bola 32,7 N. Čo sa týka zostatkovej odtrhovej sily tak tú si zachovala len v momente, ostatné časové intervaly sa už vlákno odtrhovalo skokovo. Ďalšou spoľahlivou páskou môže byť menovaná VentureTape 1553 CW.

Materiál č. 6

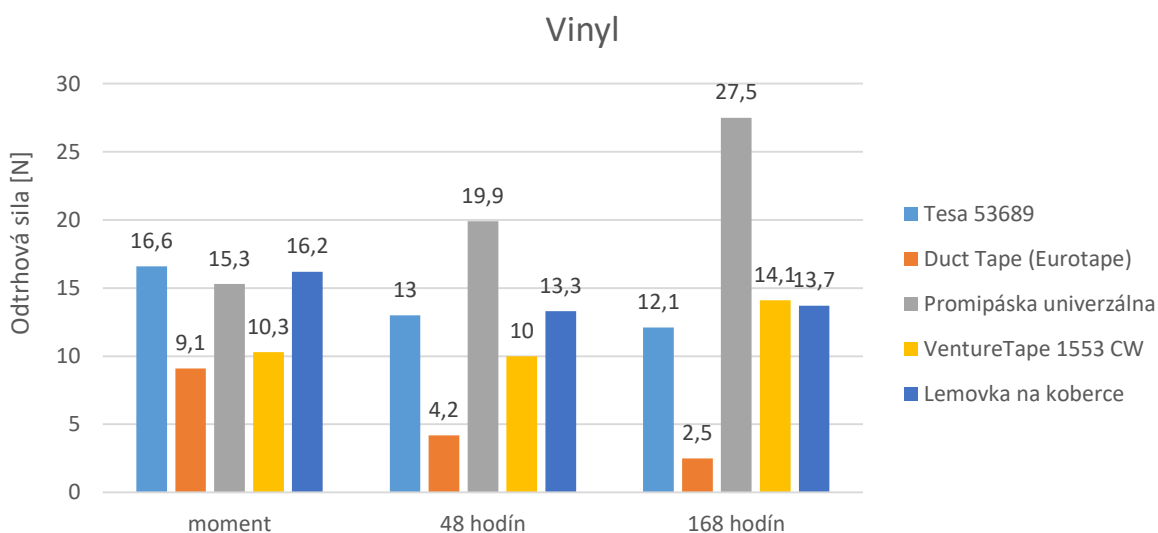


Obrázok 5.9: Graf odtrhovej sily v čase na materiáli PVC lino

Na PVC line svoju účinnosť najviac ukázala páska VentureTape 1553 CW a ako druhá Promipáska univerzálna. Materiál pôsobí matne a hladko, obecnne mali pásy na ňom dobrú príľnavosť. Najhoršie si počínala Duct Tape páska so svojím priemerným minimom.

5.2.2 Optické vlákno G.652a

Materiál č. 1

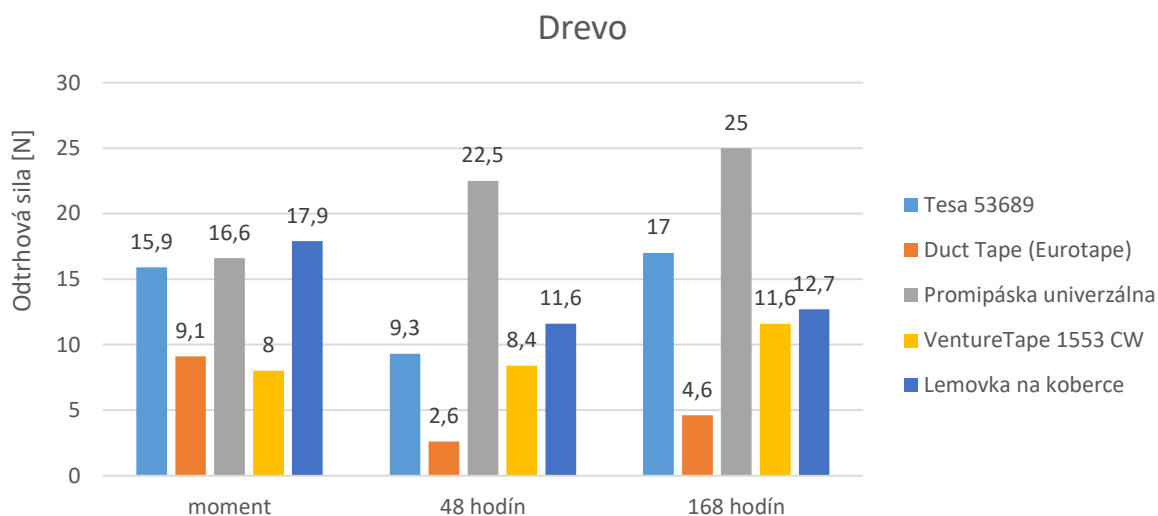


Obrázok 5.10: Graf odtrhovej sily v čase na materiáli vinyl

Kvôli spomínanej štruktúre povrchu tohto materiálu sa v tomto prípade pri použití vlákna G.652a prejavilo viac pásov, ktoré tu dosahovali svoje najmenšie priemerné fixačné vlastnosti daného

vlákna. Úplne bezvýznamný fixačný spoj z hľadiska účinnosti vypovedala fixačná páska DuctTape, ktorá po týždni vlákno nefixovala takmer vôbec. Lepšie tiež so svojím minimom bola páska Tessa 53689, ktorá so svojím priemerným minimom 13,9 N javila od pohľadu dostatočný lepidlový úchyt na materiáli ale v skutočnosti fixovala vlákno nedostatočne. Promipáska univerzálna znova fixuje veľmi dobre, ale na tomto materiáli dosiahla svoje minimum. Aj keď páska VentureTape 1553 CW pôsobila ako spoľahlivý fixačný materiál, nedokázala priľnúť dostatočne na toto menšie vlákno s primárnou ochranou a fixovať ho ako vlákno s väčším priemerom a sekundárnou ochranou.

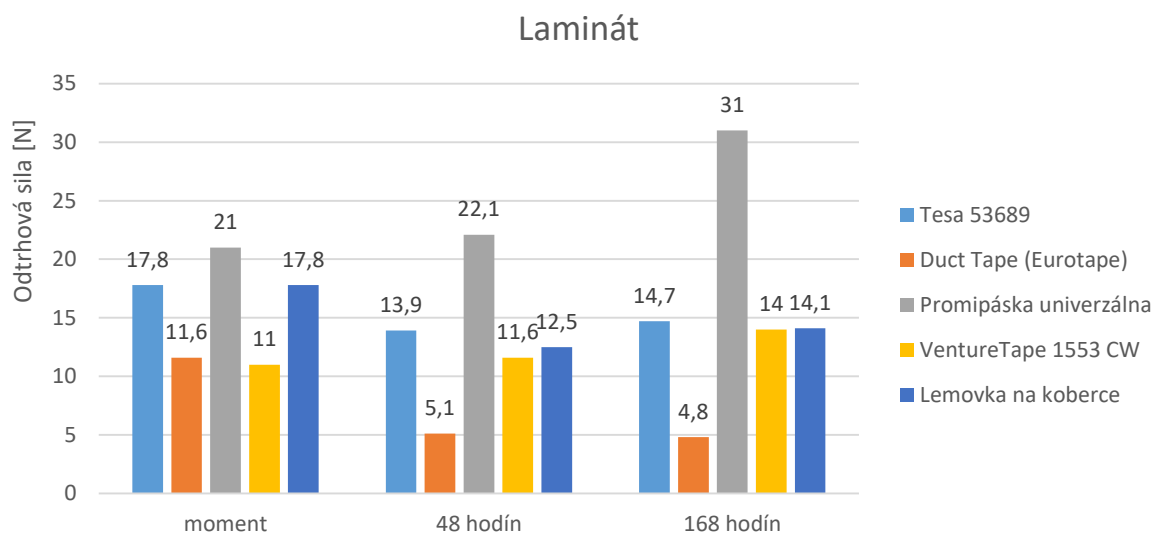
Materiál č. 2



Obrázok 5.11: Graf odtrhovej sily v čase na materiáli drevo

Oproti vláknu G.652d páska VentureTape 1553 CW stráca na účinnosti lepenia a dosahuje tu svoje priemerné minimum. Už v momente odtrhávania vlákna vykazovala veľmi malé zostatkové odtrhové sily a pri ďalších časových meraniach boli už nulové. Táto hliníková laminovaná páska je veľmi pevná v ťahu čo je tiež jej hendikep, lebo v tomto prípade nedokázala dostatočne priľnúť na vlákno. V porovnaní s ostatnými páskami pre vlákno G.652a zaostáva aj za takými páskami ktoré svojimi hodnotami prevyšovala. Ďalej tiež Lemovka na koberce vykazuje svoje priemerné minimum práve na tomto materiáli.

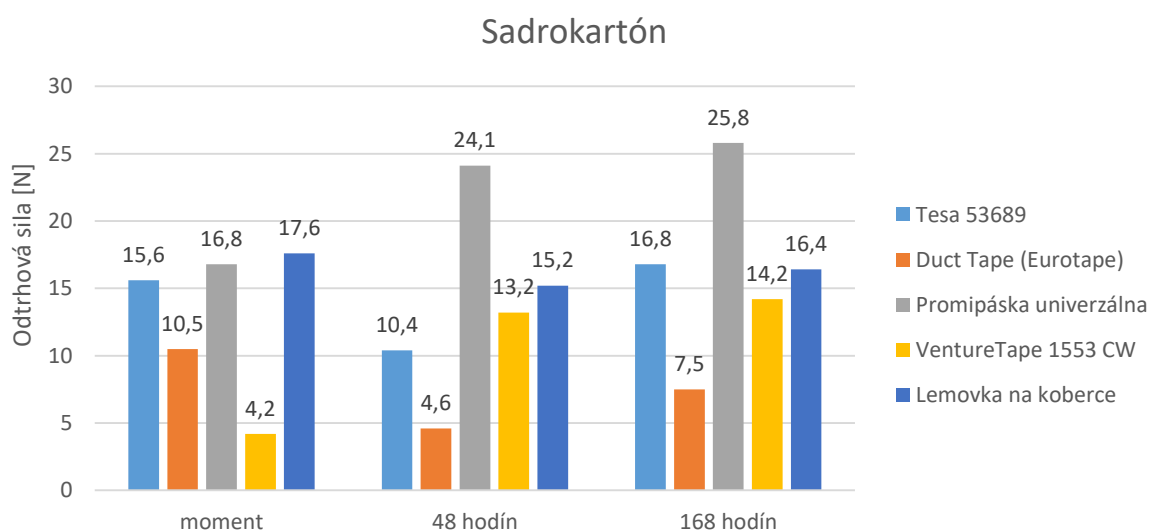
Materiál č. 3



Obrázok 5.12: Graf odtrhovej sily v čase na materiáli laminát

Pre laminát a vlákno G.652a znova potvrdzujú svoju účinnosť pásy Tesa 53689 a Promipáska univerzálna. Obidve fixačné pásy fixujú vlákno svojimi priemernými maximami. Tesa 53689 dokonca aj po 168 hodinách vykazuje odpor v podobe zostatkovej odtrhovej sily. Oproti vláknu G.652d páska VentureTape 1553 CW opakovane dokazuje, že fixácia vlákna s len primárnou ochranou touto páskou nie je dostačujúca ako na predchádzajúcom materiáli.

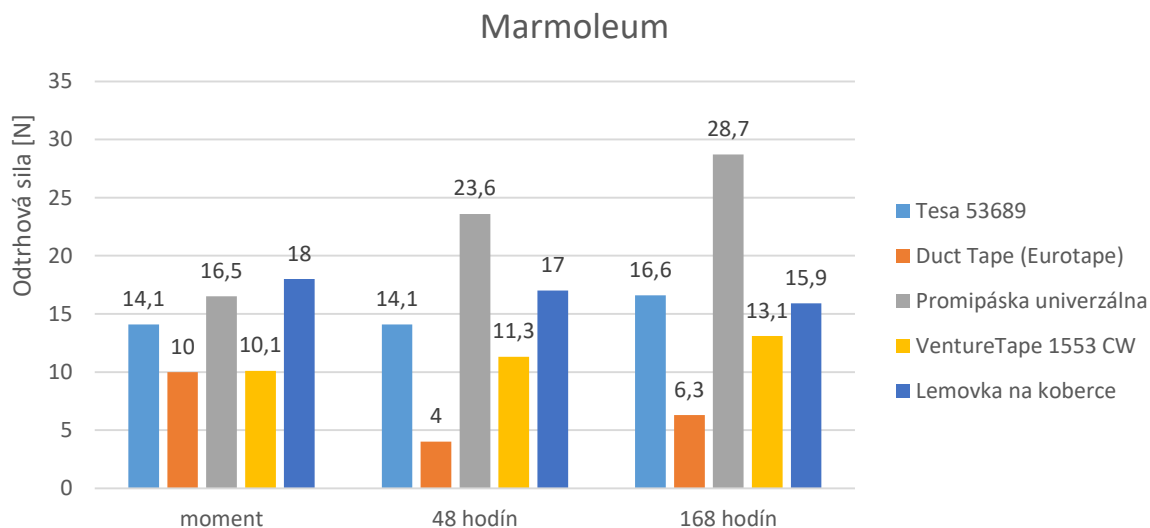
Materiál č. 4



Obrázok 5.13: Graf odtrhovej sily v čase na materiáli sadrokartón

Pre vlákno G.652a na sadrokartóne nenadobudla žiadna páska svoj priemerný extrém lepidivosti. Z grafu však možno určiť aspoň vhodné pásy pre fixovanie vlákna G.652a na tomto materiáli. Určite možno počítať s Promipáskou univerzálnou a s páskami Tesa 53689 a Lemovka na koberce. Zatiaľ čo Promipáska dovolila vláknu sa skokovo vytrhnúť od prvého momentu, ďalšie dve spomínané pásy vlákno držali ešte zostatkovou odtrhovou silou aj po 168 hodinách.

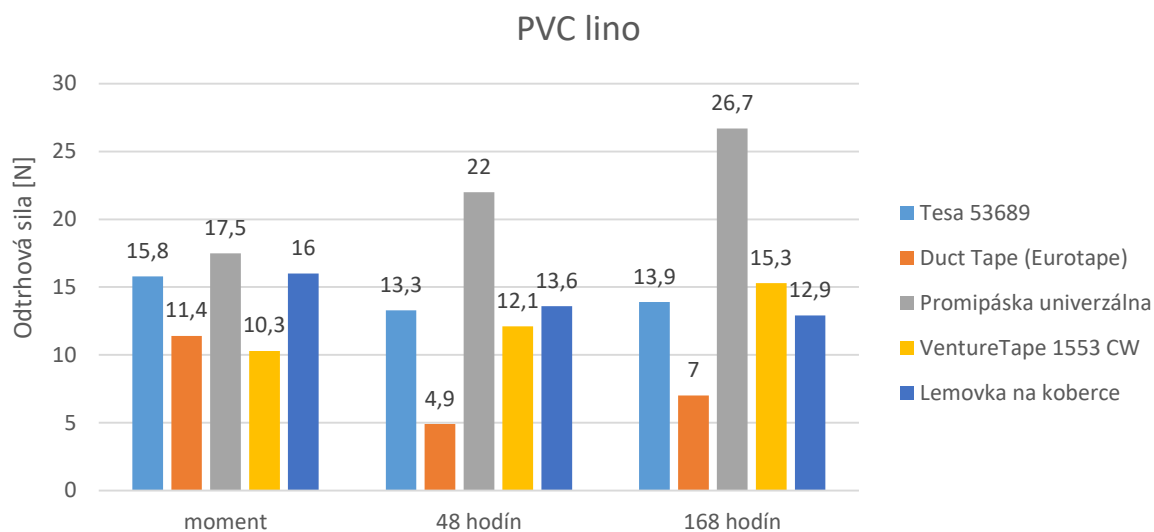
Materiál č. 5



Obrázok 5.14: Graf odtrhovej sily v čase na materiáli marmoleum

Na marmoleu znova spoľahlivo fixovala Promipáska univerzálna. VentureTape 1553 CW síce vypadá v čase stabilne, bohužiaľ pri odtrhovaní vlákna nefixovala vlákno dostatočne pevne. Pásy Tesa 53689 a Lemovka na koberce ešte po 168 hodinách fixovali vlákno pomocou zostatkovej odtrhovej sily. Lemovka na koberce navyše dosahuje na marmoleu svoje priemerné maximum lepidivosti.

Materiál č. 6



Obrázok 5.15: Graf odtrhovej sily v čase na materiáli PVC lino

Pri predošlom vlákne G.652d fixačná páska Duct Tape dosiahla svoje priemerné minimum. Naopak pri vlákne G.652a dosahuje priemerné maximum. Duct Tape ale obecné nepôsobí spoľahlivo a z povrchov sa odliepa vždy najľahšie z pomedzi všetkých fixačných páso. Jedna z najlepších páso pre vlákno G.652a sa však pre toto optické vlákno bez sekundárnej ochrany javí ako nevhodná. Touto páskou je VentureTape 1553 CW ktorá tu dosahuje svoje priemerné odtrhové maximum.

5.3 Zhodnotenie výsledkov odtrhovej sily

Test odtrhovej sily prebehol pre dve optické vlákna. Každé optické vlákno má iné rozmery a iný materiál jeho vonkajšej ochrany. Taktiež každé optické vlákno bolo testované pre všetky materiály a všetky pásy v troch časových intervaloch. Úlohou pri všetkých kombináciách fixačných páso a materiálov bolo pozorovať, ako sa mení veľkosť odtrhovej sily v ťahu optického vlákna z pod fixačnej pásky v závislosti v čase.

Každý materiál a fixačná páska dosahovali rozdielne výsledky pre obe optické vlákna v čase. Obecné je možné teda zhodnotiť, že odtrhová sila závisí od typu podkladového materiálu, fixačnej pásky a tiež optického vlákna. Takisto sa ukázalo, že určité pásy postupom času svoju účinnosť strácajú, držia si konštantný trend alebo účinnosť naberajú.

Zásadný rozdiel ku ktorému dochádzalo boli vyššie hodnoty výsledkov odtrhových síl pre optické vlákno G.652d. Toto vlákno malo väčší priemer so svojou sekundárnou ochranou oproti vláknu G.652a. Predpoklad, že veľkosť odtrhovej sily závisí od styčnej plochy, ktorou fixačná páska tlačí a oblepuje vlákno, je pravdivý. Čím má optické vlákno väčší celkový priemer, tým väčšou plochou môže byť uchytené fixačnou páskou.

Zaujímavé bolo pozorovať tiež zostatkovú odtrhovú fixačných pások v niektorých prípadoch. Väčšinou tým bolo možné poznať, že páska stále pracuje a fixačný spoj nemusel dosahovať v tom čase ešte plnú účinnosť. Zostatková odtrhová sila nebol nežiadúci jav, naopak jej prítomnosť zvyšuje spoľahlivosť uchytenia optického vlákna. Zostatkové odtrhové sily spolu s odtrhovými silami sú súčasťou príloh A-F.

Vzhľadom na dosiahnuté výsledky s istotou možno tvrdiť, že pre vlákno G.652d je najvhodnejšia Promipáska univerzálna spolu s páskou VentureTape 1553 CW, ktoré fixovali stabilne a spoľahlivo počas celého časového cyklu na všetkých materiáloch. S približne tretinovým náskokom za nimi zaostáva fixačná páska Tesa 53689, ktorá stagnovala pod hodnotou 20 N. Za ňou nasleduje Lemovka na koberce, ktorá bola okrem sadrokartónu materiálu horšia vo všetkých zvyšných prípadoch. Obe tieto pásky v porovnaní s Promipáskou univerzálnou a VentureTape 1553 CW sú z dlhodobého hľadiska nedostačujúce, lebo svojou účinnosťou časom slabnú.

Pre vlákno G.652a sa dosiahnuté výsledky značne líšia. V tomto prípade optické vlákno dopláca na svoje malé rozmery a nemožnosť ho následne dostatočne uchytiť. Vrch rebríčka najlepších fixačných pások pre dané vlákno sa obmieňa a do popredia stúpajú pásky, ktoré sa pri vlákne G.652d javili ako neuspokojivé. Promipáska univerzálna si drží stúpajúci trend a optické vlákno spoľahlivo fixuje. Rovnaký trend si drží aj VentureTape 1553 CW akurát svojimi hodnotami klesá pod pásky Tesa 53689 a Lemovka na koberce. Táto páska síce kvalitne lepí ale je zároveň veľmi tvrdá a nedokáže prilnúť na menšie vlákno tak dobre ako Lemovka na koberce s Tesa 53689.

Páska Duct Tape sa neosvedčila z dlhodobého hľadiska ani pre jedno optické vlákno či materiál. Nemôže ani tvoriť variantu pre krátkodobé uchytenia, či krátke úseky alebo byť lacnejšou variantou. Promipáska univerzálna jednoznačne prevyšuje Duct Tape pásku v cene aj vo všetkých vlastnostiach potrebných pre kvalitnú fixáciu optického vlákna.

6 Vplyv fixačných pások na Brillouinové frekvencie

Hlavný výskum spočíval v nalezení vhodného riešenia pre uchytenie optického vlákna pomocou fixačných pások. Problém nie je uchytiť optické vlákno ale správny výber fixačnej pásky na jeho uchytenie. Od fixácie senzorických vlákien sa vyžadujú určité vlastnosti. Je samozrejmosťou aby samotná lepiaca páska dobre a dlhodobo držala na podkladovom materiáli. V senzorike však je za potreby zachovať a nepotlačovať citlivosť charakteru optického vlákna. V ideálnom prípade zafixovať optické vlákno spôsobom, ktorý ešte pridá tejto citlivosti na intenzite. Tá sa zvýši, ak je oblepená čo najväčšia plocha povrchu optického vlákna a je naň vyvíjaný primeraný tlak z dôvodu dostatočnej prilnavosti na monitorovaný podkladový materiál. Tento potrebný tlak predstavujú práve Brillouinovské frekvencie DSTS systému.

Cieľom bolo zaznamenať zvýšené Brillouinovské frekvencie na úsekoch trasy, ktoré predstavovali časť vlákna fixovaného na podkladovom materiáli. Na základe výsledkov potom zhodnotiť, ktorá fixačná páska má najväčší vplyv na optické vlákno a zároveň na akom materiáli. Po dosiahnutí výsledkov tejto fázy merania sa následne pokúsiť o určenie najvýhodnejšej kombinácii fixačnej pásky pre daný materiál. V poslednej časti porovnať a nájsť spojitost' medzi výsledkami odtrhovej sily každej fixačnej pásky a Brillouinovskými frekvenciami. Rovnako ako pri testovaní odtrhovej sily, aj tu sa získavali výsledky v troch časových intervaloch (moment, 48 a 168 hodín).

(poznámka: Zostavenie optickej trasy bol časovo náročný proces a pojem „moment“ sa musí v tomto prípade definovať. Od uchytenia prvého vlákna na prvý materiál až po poslednú časť vlákna na poslednom materiáli ubehlo 72 hodín. Čistý čas potrebný na zostavenie trasy bolo 24 hodín. Preto pod pojmom „moment“ sa musí brať do úvahy, že celá trasa mala určitý prirodzený vývoj a moment sa počíta až po kompletizácii celej trasy.)

6.1 Brillouinová frekvencia v čase

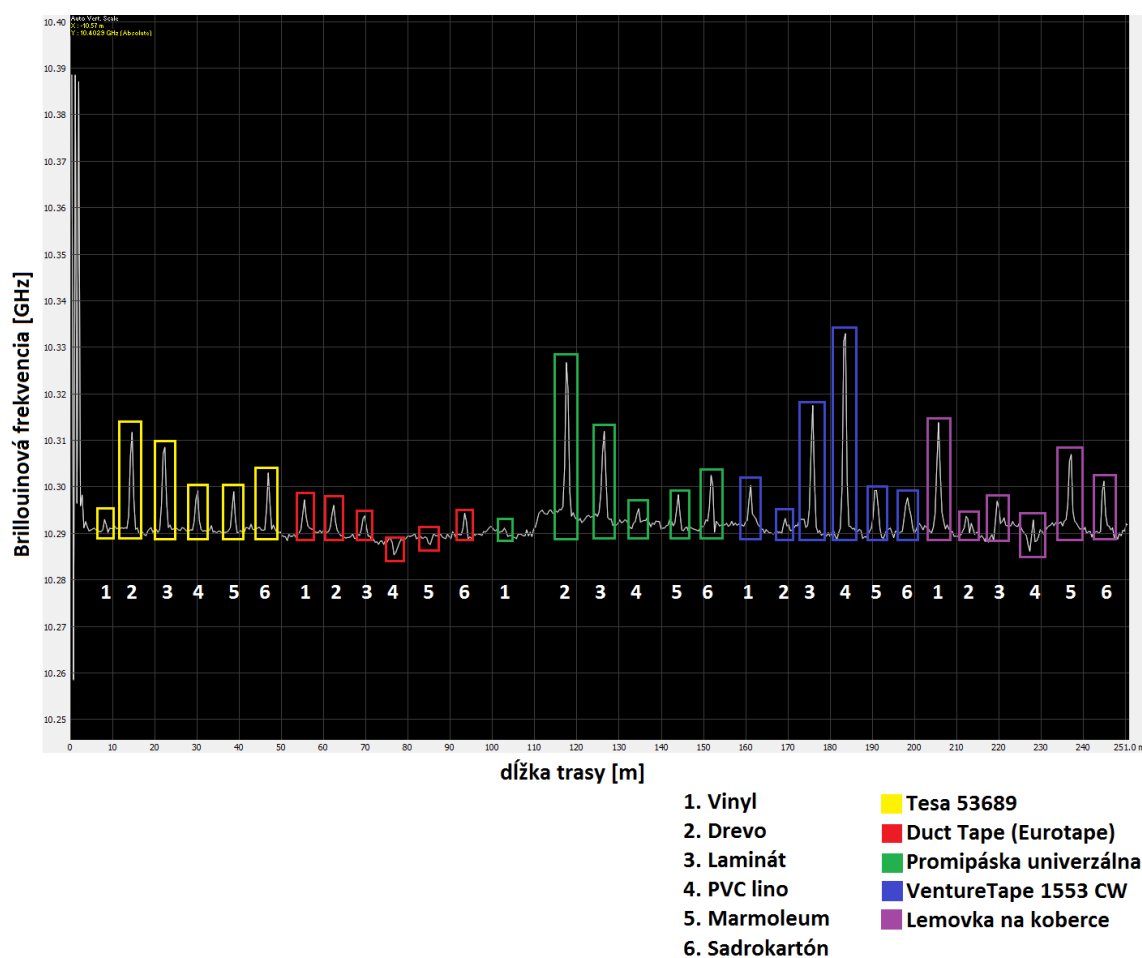
Dosiahnuté výsledky sú zobrazené v grafoch generovaných priamo DSTS systémom. Pre lepší prehľad sú sledované frekvencie zvýraznené podľa použitej fixačnej pásky a popísané číslom podľa podkladového materiálu. Jednotlivé frekvencie ukazujú veľkosť vplyvu fixačnej pásky na optické vlákno.

Presné číselné hodnoty pre jednotlivé frekvencie sú spracované formou tabuľky. Tabuľka navyše ponúka pre predstavu stredné hodnoty pre lepivosť jednotlivých fixačných pások nezávisle od

podkladového materiálu a ďalej stredné hodnoty pre lepivosť na danom podkladovom materiáli nezávisle od použitej fixačnej pásky.

6.1.1 Optické vlákno G.652d

6.1.1.1 Brillouinové frekvencie fixačných pásek v momente



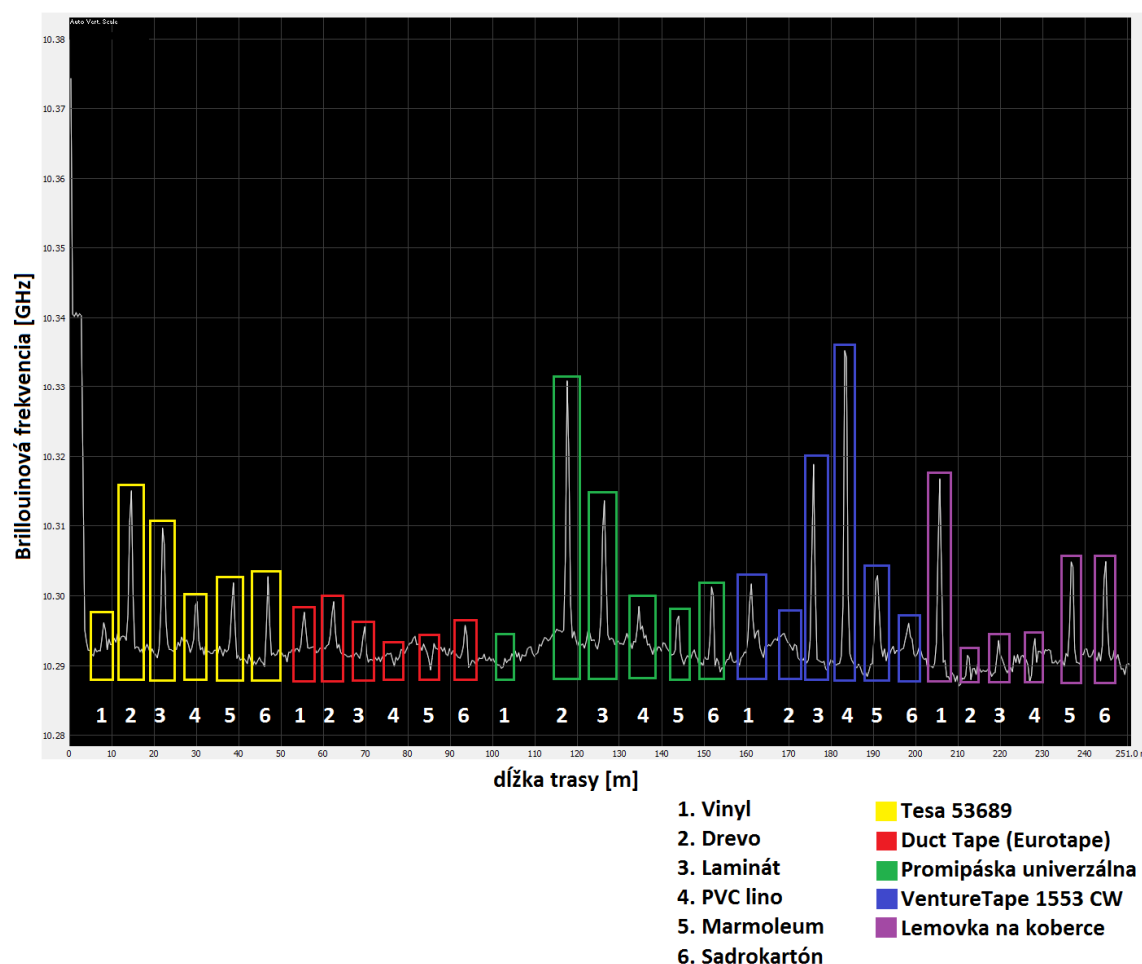
Obrázok 6.1: Brillouinové frekvencie namerané v momente pomocou DSTS

Moment	Brillouinová frekvencia [GHz]						
	Materiál						
Fixačná páska	Vinyl	Drevo	Laminát	PVC lino	Marmoleum	Sadrokartón	E(X)
Tesa 53689	10,293	10,3117	10,3084	10,2991	10,299	10,303	10,30237
Duct Tape	10,2972	10,296	10,2937	10,2855	10,2877	10,2943	10,2924
Promipáska univerzálna	10,2991	10,3267	10,3119	10,2953	10,2982	10,3025	10,30562
VentureTape 1553 CW	10,3003	10,2931	10,3175	10,3329	10,2992	10,2976	10,30677
Lemovka na koberce	10,3138	10,2936	10,2969	10,2929	10,3069	10,3011	10,30087
E(X)	10,30068	10,30422	10,30568	10,30114	10,2982	10,2997	

Tabuľka 6.1: Brillouinové frekvencie namerané v momente

Graf DSTS systému jasne ukazuje charakteristiku najlepších pásov pre dané materiáli namerané pre daný moment. Podľa priemeru možno povedať, že najlepšie fixujúcou páskou bola VentureTape 1553 CW a fixačnou páskou najhoršou sa ukázala Duct Tape. Analýza vplyvu fixačnej pásky na optické vlákno môže byť potrebná pre budúce krátkodobé aplikácie pri monitorovaní pomocou DSTS. Ak teda bude potrebné zafixovať toto optické vlákno napr. na krátky čas pre jedno meranie, podľa výsledkov je vhodné fixovať vlákno na vinyl a marmoleum lemovkou na koberce. Pre drevo je spoľahlivá Promipáska univerzálna. VentureTape 1553 CW dosahuje najlepšie fixačné vlastnosti na laminát a PVC lino. Pre sadrokartón je vhodná Tesa 53689.

6.1.1.2 Brillouinové frekvencie fixačných pásov po 48 hodinách



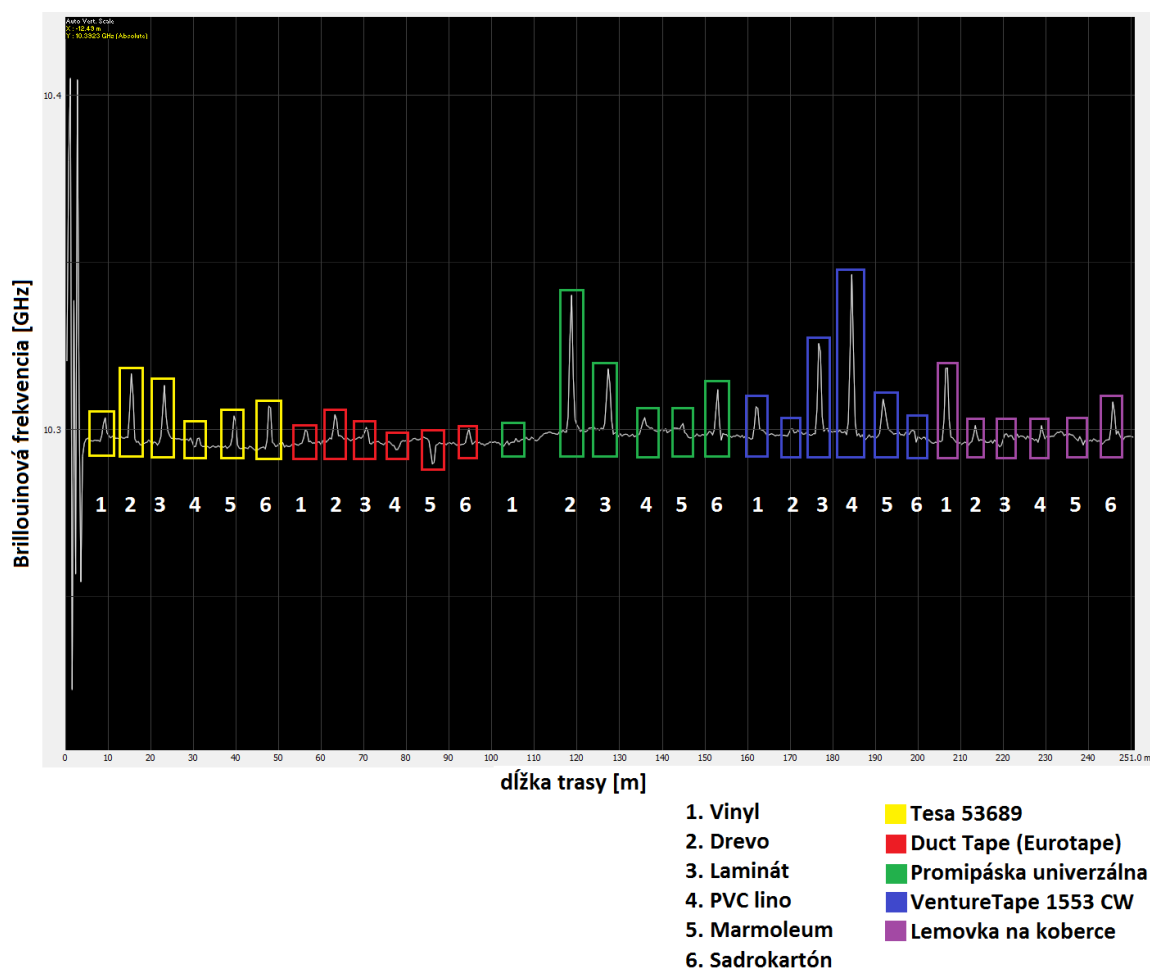
Obrázok 6.2: Brillouinové frekvencie namerané po 48 hodinách pomocou DSTS

48 hodín	Brillouinová frekvencia [GHz]						
	Materiál						
Fixačná páska	Vinyl	Drevo	Laminát	PVC lino	Marmoleum	Sadrokartón	E(X)
Tesa 53689	10,2961	10,3151	10,3097	10,2991	10,3019	10,3027	10,3041
Duct Tape	10,2976	10,2991	10,2956	10,29	10,2894	10,2958	10,29458
Promipáska univerzálna	10,299	10,3309	10,3136	10,2985	10,297	10,3012	10,3067
VentureTape 1553 CW	10,3017	10,2946	10,3188	10,3353	10,3028	10,296	10,3082
Lemovka na koberce	10,3167	10,2914	10,2935	10,2939	10,3048	10,3049	10,30087
E(X)	10,30222	10,30622	10,30624	10,30336	10,29918	10,30012	

Tabuľka 6.2: Brillouinové frekvencie namerané po 48 hodinách

Horizont 48 hodín pre fixačné pásy môže už v niektorých prípadoch naznačovať tendenciu fixačnej účinnosti pások v závislosti v čase. Podľa výsledkov je už možné pozorovať zvyšujúce sa Brillouinové frekvencie pre fixačné pásy Tesa 53689, Duct Tape, Promipáska univerzálna a VentureTape 1553 CW. Z tabuľky sa dá určiť, že po 48 hodinách je vhodné vlákno fixovať na vinyle, marmoleu a sadrokartóne Lemovkou na koberce. Na dreve najspolahlivejšie fixuje Promipáska univerzálna, na lamináte a PVC line VenutreTape 1553 CW.

6.1.1.3 Brillouinové frekvencie fixačných pások po 168 hodinách



Obrázok 6.3: Brillouinové frekvencie namerané po 48 hodinách pomocou DSTS

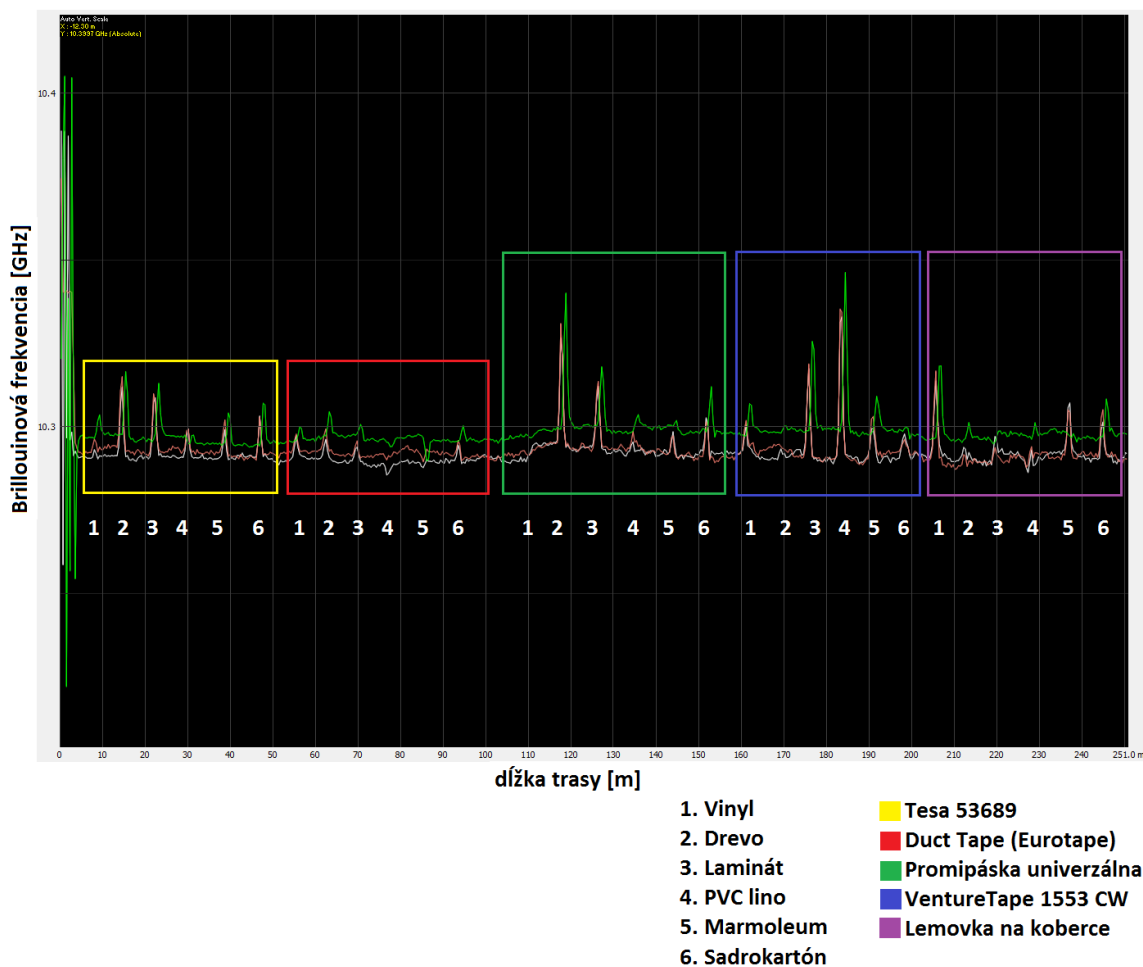
168 hodín	Brillouinová frekvencia [GHz]						
	Materiál						
Fixačná páska	Vinyl	Drevo	Laminát	PVC lino	Marmoleum	Sadrokartón	E(X)
Tesa 53689	10,3033	10,3165	10,3131	10,2973	10,3039	10,3069	10,30683
Duct Tape	10,2998	10,3043	10,3005	10,2939	10,2897	10,3001	10,29805
Promipáska univerzálna	10,2964	10,3401	10,318	10,3035	10,3017	10,3118	10,31192
VentureTape 1553 CW	10,3067	10,3	10,3256	10,3462	10,3089	10,2996	10,3145
Lemovka na koberce	10,3182	10,3011	10,2986	10,301	10,2986	10,3081	10,30427
E(X)	10,30488	10,3124	10,31116	10,30838	10,30056	10,3053	

Tabuľka 6.3: Brillouinové frekvencie namerané po 168 hodinách

Pre vlákno štandardu G.652d sa po cykle 168 hodín dosahujú smerodatné výsledky pre každú fixačnú pásku. V prípade prvých dvoch testoch v momente a po 48 hodinách môže predsa len viesť k neistote v rámci chovania sa fixačnej pásky v čase, keďže vlákno mohlo byť uchytené odlišne vinou ľudského faktoru. Tretí údaj po 168 hodinách sa už pokladá za uist'ujúci, že trend ktorý páska naberá

je správny. Z dosiahnutých výsledkov sa môže zhodnotiť, že pre vinyl ostáva najvhodnejšia Lemovka na koberce, pre drevo, laminát, PVC lino a marmoleum dominatne páska VentureTape 1553 CW a Promipáska univerzálna najlepšie fixovala na sadrokartón.

6.1.1.4 Vzájomne časové porovnanie Brillouinových frekvencií

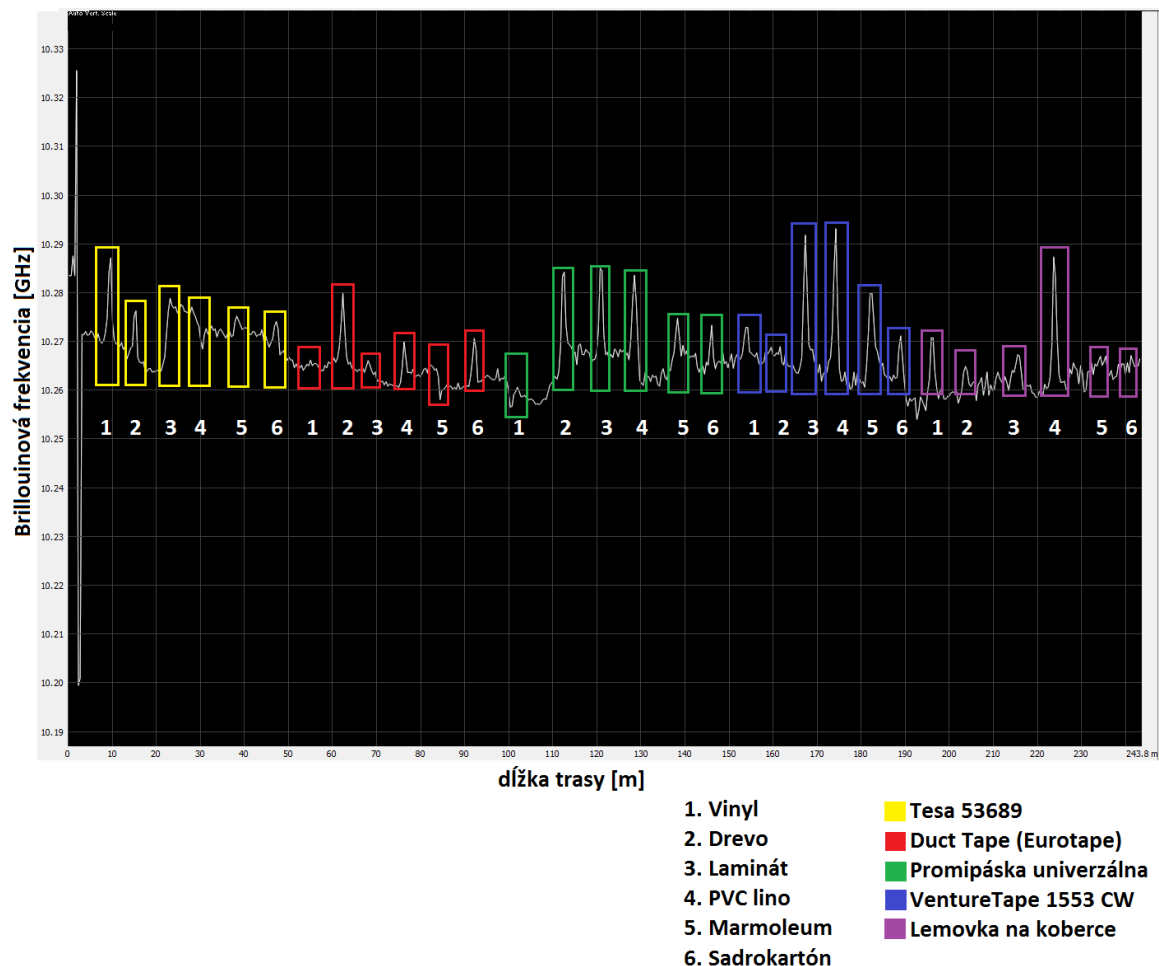


Obrázok 6.4: Porovnanie jednotlivých Brillouinových frekvencií v čase pre vlákno č.1

Zo vzájomného porovnania jednotlivých meraní v čase možno dokázať jasnú závislosť Brillouinových frekvencií od času. Biela farba Brillouinovej frekvencie označuje moment, červená 48 hodín a zelená interval 168 hodín. Obecnne možno tvrdiť, že s postupom času sa zvyšuje aj Brillouinová frekvencia. Pri fixovaní sa pásy natáhali a prikladali na vlákno ležiace na podkladovom materiáli. Pásy sa časom sťahujú čím zväčšujú svoj tlak na optické vlákno a zároveň tvrdne vrstva lepidla ktoré pásy obsahujú.

6.1.2 Optické vlákno G.652a

6.1.2.1 Brillouinové frekvencie fixačných pásovk v momente



Obrázok 6.5: Brillouinové frekvencie namerané v momente pomocou DSTS

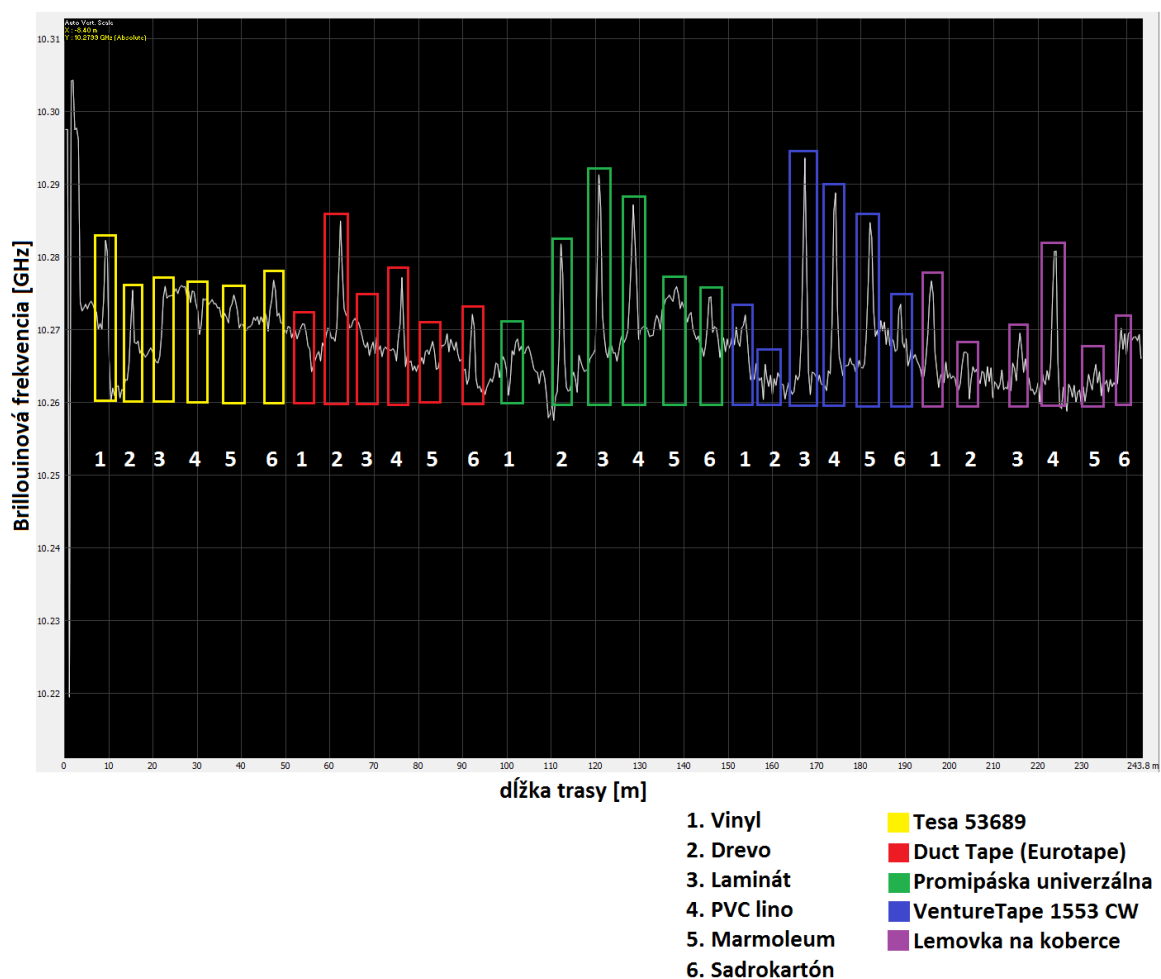
Moment	Brillouinová frekvencia [GHz]						
	Materiál						
Fixačná páska	Vinyl	Drevo	Laminát	PVC lino	Marmoleum	Sadrokartón	E(X)
Tesa 53689	10,287	10,2762	10,2788	10,2685	10,2752	10,274	10,27662
Duct Tape	10,264	10,2798	10,266	10,27	10,2582	10,2705	10,26808
Promipáska univerzálna	10,2567	10,2842	10,285	10,2834	10,2747	10,2733	10,27622
VentureTape 1553 CW	10,2729	10,2689	10,2917	10,293	10,2799	10,2711	10,27958
Lemovka na koberce	10,2708	10,2648	10,2672	10,2872	10,2598	10,2669	10,26945
E(X)	10,27028	10,27478	10,27774	10,28042	10,26956	10,27116	

Tabuľka 6.5: Brillouinové frekvencie namerané v momente

Vlákno č. 2 dosahovalo obecné menšie hodnoty frekvencií oproti vláknu č. 1. Je to spôsobené veľkosťou styčnej plochy, ktorou je fixačná páska schopná vlákno oblepiť a priľnúť naň. Vlákno č. 2

má menší priemer a neumožňuje vyvíjať páskam takú fixačnú účinnosť ako pri vlákne s väčším priemerom. Z dosiahnutých výsledkov sa dá zhrnúť, že pre vinyl a sadrokartón je najlepšia fixačná páska Tesa 53689, pre drevo sa ukázala najvhodnejšou Promipáska univerzálna, na lamináte, PVC line a marmoleu fixovala najlepšie VentureTape 1553 CW.

6.1.2.2 Brillouinové frekvencie fixačných pásek po 48 hodinách



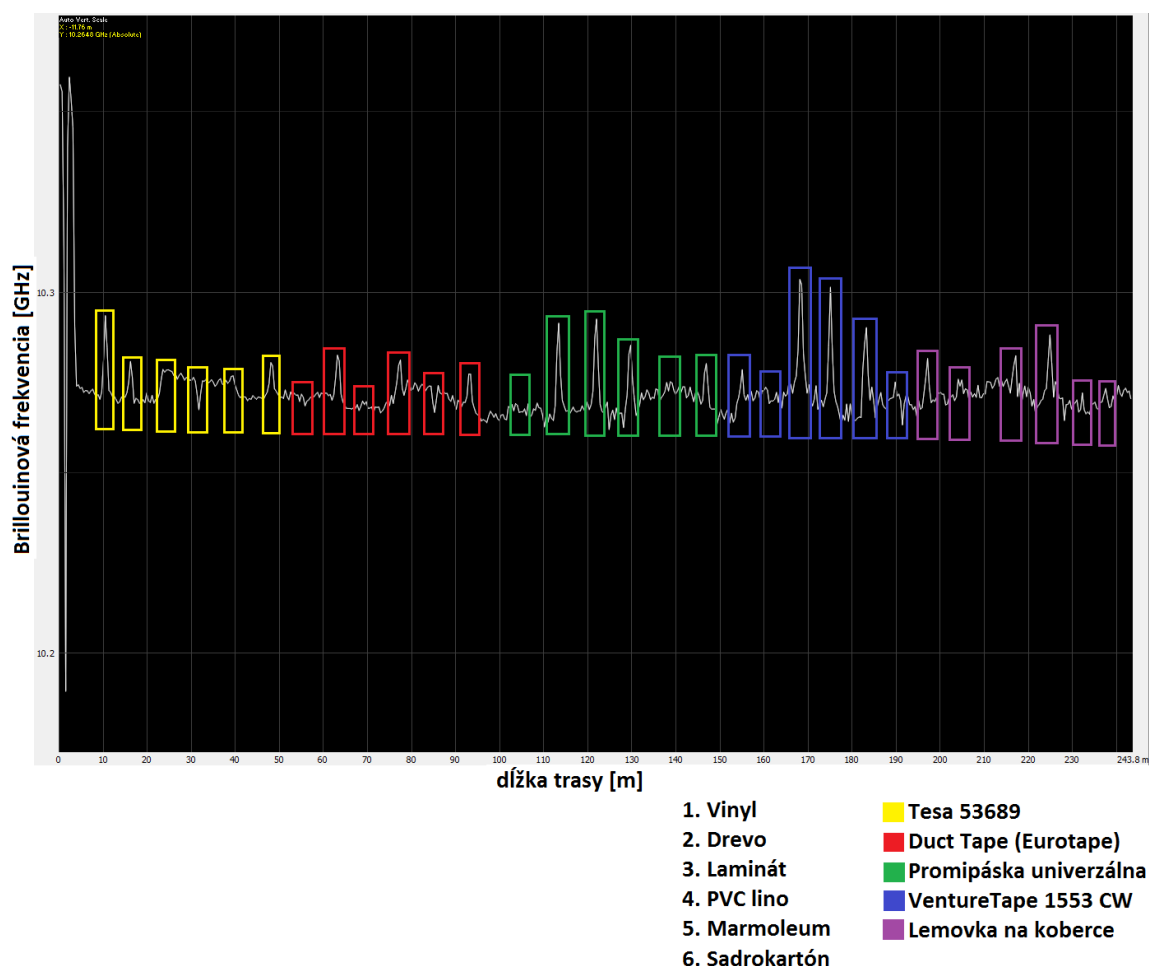
Obrázok 6.6: Brillouinové frekvencie namerané po 48 hodinách pomocou DSTS

48 hodín	Brillouinová frekvencia [GHz]						
	Materiál						
Fixačná páska	Vinyl	Drevo	Laminát	PVC lino	Marmoleum	Sadrokartón	E(X)
Tesa 53689	10,2822	10,2754	10,2758	10,2695	10,2748	10,2768	10,27575
Duct Tape	10,2643	10,2848	10,2689	10,2771	10,2646	10,272	10,27195
Promipáska univerzálna	10,261	10,2817	10,2913	10,2871	10,2759	10,2744	10,27857
VentureTape 1553 CW	10,2719	10,264	10,2935	10,2888	10,2846	10,2734	10,27937
Lemovka na koberce	10,2766	10,2668	10,2694	10,2807	10,2604	10,2696	10,27058
E(X)	10,2712	10,27454	10,27978	10,28064	10,27206	10,27324	

Tabuľka 6.6: Brillouinové frekvencie namerané po 48 hodinách

Rovnako ako pri vlákne č. 1 aj tu už čas 48 hodín môže napovedať uberajúcu sa tendenciu fixačných pásovk. Tesa 53689 ostáva spoľahlivou pre vinyl a sadrokartón, pre drevo nečakane páska Duct Tape, na lamináte, PVC line a marmoleu držala najlepšie VentureTape 1553 CW.

6.1.2.3 Brillouinové frekvencie fixačných pásovk po 168 hodinách



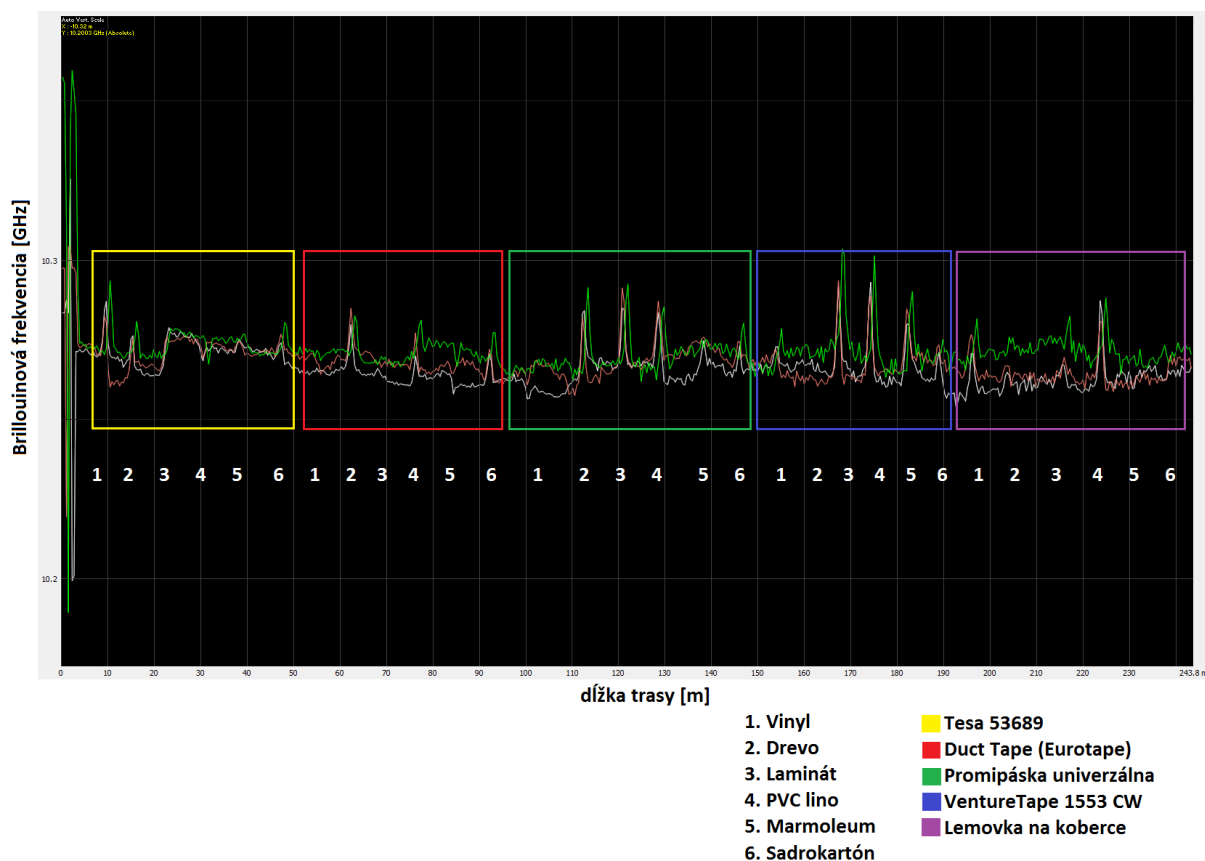
Obrázok 6.7: Brillouinové frekvencie namerané po 168 hodinách pomocou DSTS

168 hodín	Brillouinová frekvencia [GHz]						
	Materiál						
Fixačná páska	Vinyl	Drevo	Laminát	PVC lino	Marmoleum	Sadrokartón	E(X)
Tesa 53689	10,2935	10,2806	10,2785	10,2677	10,2768	10,2804	10,27958
Duct Tape	10,2686	10,2824	10,2698	10,2811	10,2668	10,2773	10,27433
Promipáska univerzálna	10,2646	10,2914	10,2925	10,2852	10,2751	10,2801	10,28148
VentureTape 1553 CW	10,2785	10,2736	10,3035	10,3014	10,2901	10,275	10,28702
Lemovka na koberce	10,2816	10,2757	10,2823	10,288	10,2668	10,2741	10,27808
E(X)	10,27736	10,28074	10,28532	10,28468	10,27512	10,27738	

Tabuľka 6.7: Brillouinové frekvencie namerané po 168 hodinách

Horizont 168 rozhoduje o tendencii jednotlivých fixačných pások. Po týždni s najväčšou príľnavosťou na optické vlákno na vinyle a sadrokartóne ostala páska Tesa 53689. Na dreve dobehla páska Duct Tape svojou kvalitou Promipáska univerzálna a pre ostatné materiáli sa osvedčila VentureTape 1553 CW.

6.1.2.4 Vzájomné časové porovnanie Brillouinových frekvencií



Obrázok 6.8: Porovnanie jednotlivých Brillouinových frekvencií v čase pre vlákno č.2

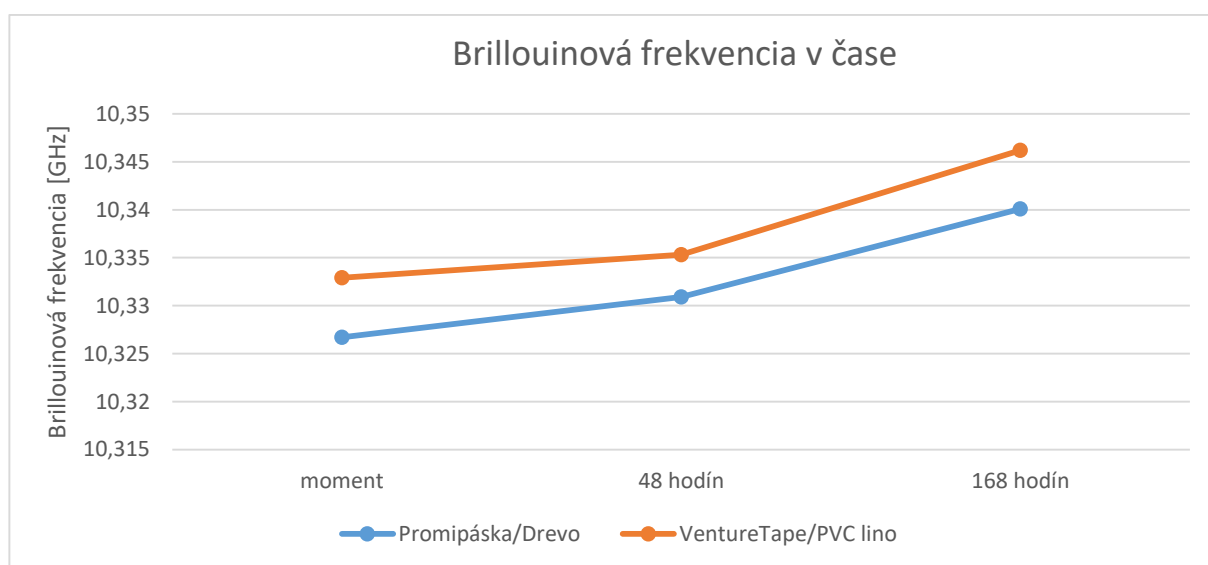
Vzájomné porovnanie frekvencií v čase môže pôsobiť u tohto typu vlákna s primárnou ochranou mierne chaoticky avšak po dôkladnej analýze je predsa možné rozoznať jednotlivé vrcholy určujúce podkladový materiál. Biela farba Brillouinovej frekvencie označuje moment, červená 48 hodín a zelená interval 168 hodín. Každopádne sem rovnako platí stúpajúca tendencia pások fixovať optické vlákno účinnejšie s plynúcim časom.

6.2 Brillouinová frekvencia v čase

Táto sekcia je zameraná na špecifickú fixačnú pásku a jej podkladový materiál. Zobrazené sú dve najlepšie fixačné pásky pre každé optické vlákno a dve najhoršie pásky s príslušným podlahovým materiálom. Grafy zobrazujú tendenciu Brillouinovej frekvencie fixačnej pásky stúpať alebo klesať v čase. Brillouinová frekvencia sa časom u každej fixačnej pásky mení s iným krokom.

6.2.1 Optické vlákno G.652d

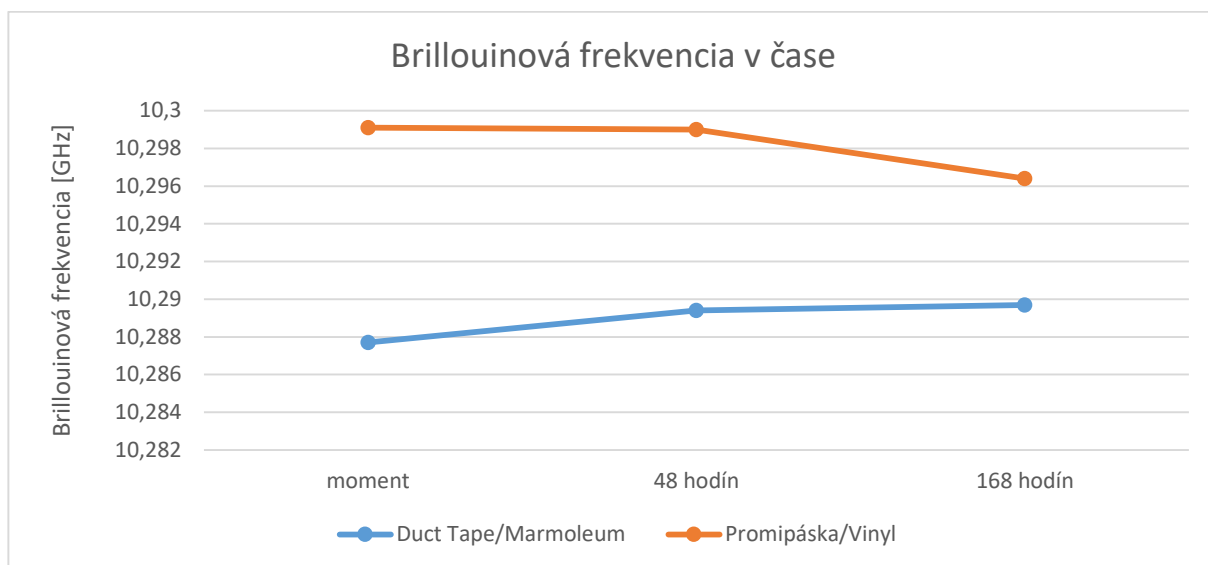
Dve najspoľahlivejšie fixačné pásky



Obrázok 6.9: Graf trendu špecifických fixačných pásek v čase

Graf znázorňuje stúpajúcu tendenciu v čase pre dve najlepšie pásky pri vlákne č. 1 a to Promipásku univerzálnu na dreve a VentureTape 1553 CW pásku na PVC linoleu. Promipáska univerzálna zvýšila svoj vplyv na optické vlákno v priebehu 168 hodín o 0,0134 GHz a páska VentureTape 1553 CW takmer rovnako o 0,0133 GHz.

Dve najmenej spoľahlivé fixačné pásy

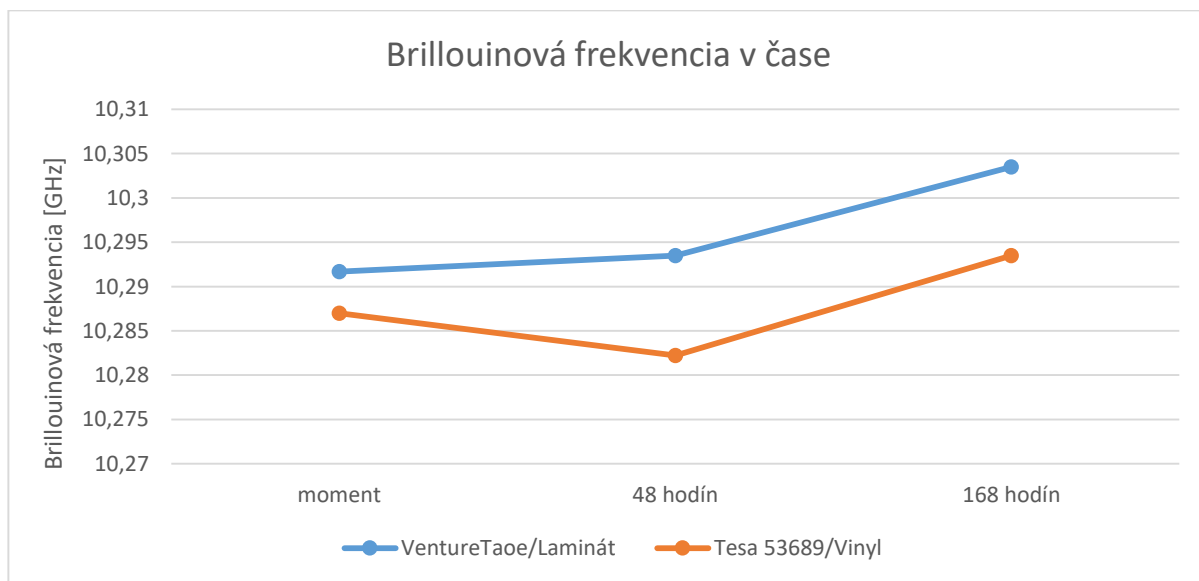


Obrázok 6.10: Graf trendu špecifických fixačných pások v čase

Graf popisuje dve najhoršie fixačné pásy z pohľadu spoľahlivosti v čase. Najslabší rast mala páska Duct Tape na marmoleum, ktorá po 168 hodinách zväčšila svoj vplyv na optické vlákno o 0,0020 GHz. Svoju jedinou slabosť ukázala Promipáska univerzálna na vinele, ktorej účinnosť dokonca poklesla o 0,0027 GHz.

6.2.2 Optické vlákno G.652a

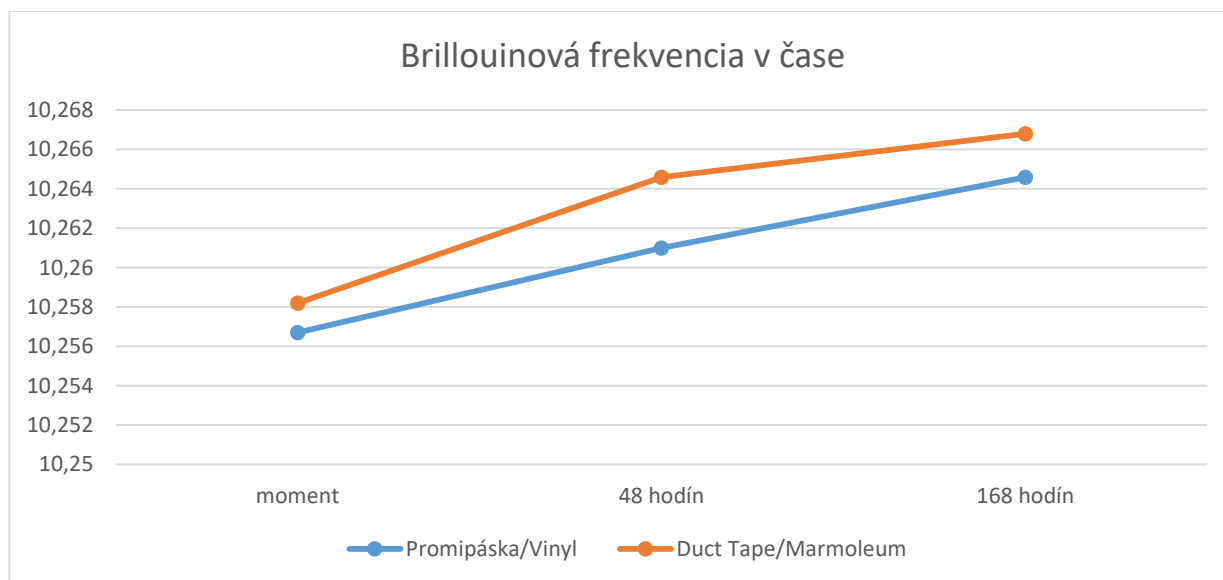
Dve najspoľahlivejšie fixačné pásy



Obrázok 6.11: Graf trendu špecifických fixačných pások v čase

Pre vlákno č. 2 najlepšie fixovala páska VentureTape 1553 CW. Svoj rast v čase zvýšila o 0,0118 GHz. Druhá najlepšia fixačná páska Tesa 53689 na vinyle mala svoju stúpajúcu tendenciu po 168 hodinách 0,0065 GHz

Dve najmenej spoľahlivé fixačné pásy



Obrázok 6.12: Graf trendu špecifických fixačných pásov v čase

Pri vlákne č. 2 bolo už tradičné, že v niektorých prípadoch dosahovalo s nespoľahlivými páskami pre vlákno č. 1 spoľahlivé výsledky. Obdobný prípad stúpajúcej tendencie oboch pásov popisujú dve najmenej fixujúce pásy pre vlákno č. 2. Tie dosahujú vyššiu tendenciu ako najlepšie fixujúca Tesa 53689. Promipáska na vinyle zvýšila svoj vplyv počas týždňa o 0,0079 GHz a páska Duct Tape na marmoleu o 0,0086 GHz.

6.3 Zhodnotenie výsledkov fixačných pásov a ich Brillouinových frekvencií

Po analýze meraní obidvoch optických vlákien možno zhrnúť, že najvyššiu fixačnú účinnosť držalo optické vlákno so sekundárnou ochranou, ktoré si vďaka svojmu väčšiemu priemeru držalo vyššie Brillouinovské frekvencie.

Fixačné pásy časom ukazujú svoju účinnosť ktorá sa môže líšiť od počiatočných hodnôt v momente. Rovnako ako pri odtrhovej sile, pásy, ktoré boli vhodné pre vlákno č. 1 môžu a nemusia byť vhodné pre vlákno č.2. Dôležité pre fixovanie optických vlákien je ich spoľahlivosť aj po dlhšom čase. Fixovanie optického vlákna len pre daný moment kvôli jednorazovému monitorovaniu je tiež

možnosť, avšak netreba ju zvažovať pokiaľ kvalitnejšie pásky nepresahujú cenu tých menej kvalitných fixačných pások.

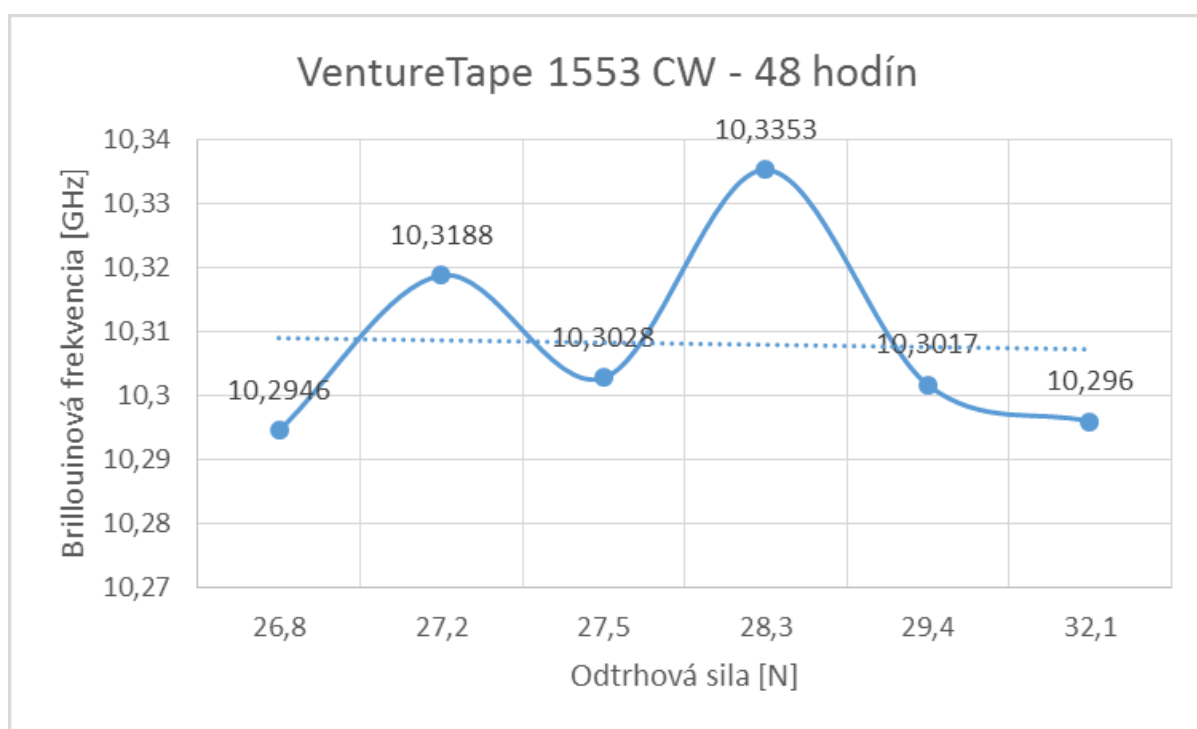
Z dlhodobého hľadiska pre vlákno č. 1 podľa dosiahnutých výsledkov možno odporučiť fixovanie páskou Tesa 53689 na materiáloch marmoleum a sadrokartón. Páska Duct Tape dosahovala najmenšie hodnoty a celkovo jej priemerná fixačná účinnosť bola najmenšia a zároveň nedostatočná vo väčšine prípadoch. Promipáska univerzálna spolu s VentureTape 1553 CW tvorili celý čas dokonalú fixáciu na každom materiáli. Rozdiel medzi nimi stanovuje cena, ktorá sa pri VentureTape 1553 CW šplhá na 10-násobok Promipásky. V prípade potreby fixovať optické vlákno v prostredí kde je nutné zabezpečiť čo najvyššiu ochranu optického vlákna, prednostnejšia bude voľba hliníkovej VentureTape pásky. Lemovka na koberce predbehne na materiáli vinyl dokonca aj pásky Promipáska univerzálna a VentureTape 1553 CW.

Z dlhodobého hľadiska pre vlákno č. 2 podľa dosiahnutých výsledkov možno odporučiť fixovanie páskou Tesa 53689 na vinyle a tiež sadrokartóne. Duct Tape síce pôsobí na dreve ako druhá najspoľahlivejšia, no vzhľadom na jej odtrhovú silu a tendenciu poklesu jej účinnosti v čase ju nemožno pokladať za dôveryhodnú. Promipáska univerzálna drží najlepšie na dreve, VentureTape 1553 CW zas na lamináte, PVC line a marmoleu. Lemovka na koberce nebola lepšia pri žiadnom materiáli.

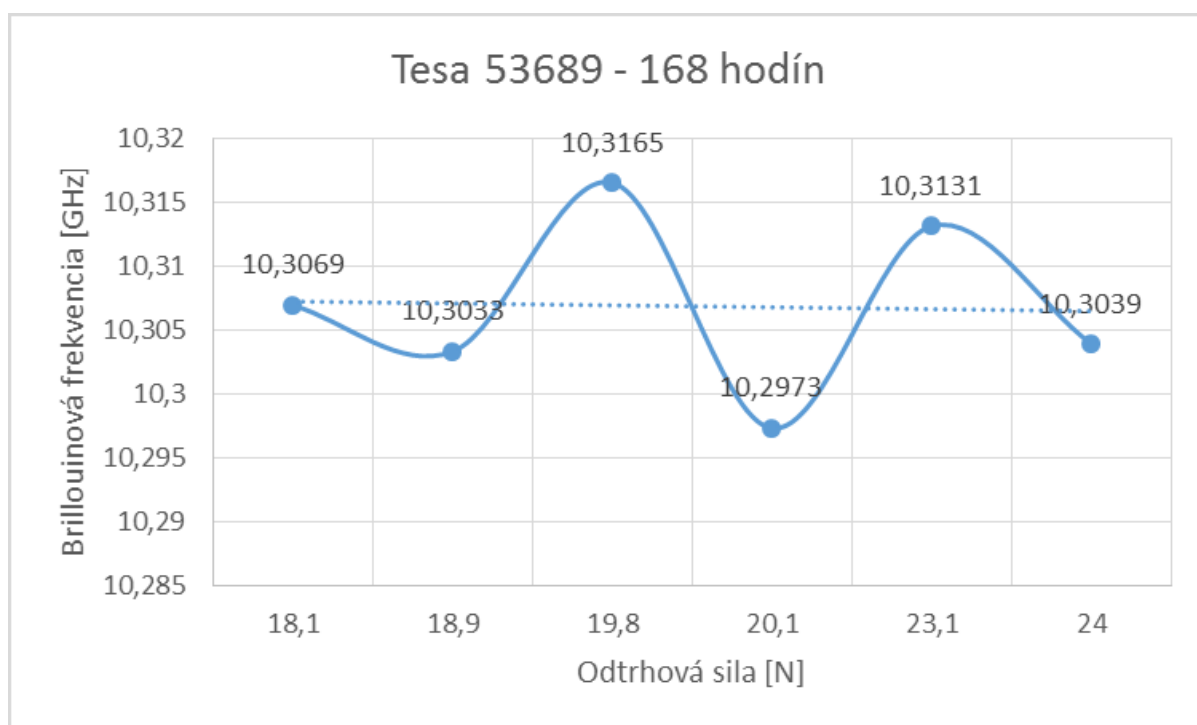
7 Časová súvislosť Brillouinovej frekvencie a odtrhovej sily

Týmto experimentom sa sledoval predpoklad, že Brillouinová frekvencia bude priamo úmerná s odtrhovou silou, ktorou sa testovali fixačné pásy na začiatku práce. Pre objektivnosť sa pri tomto predpoklade počítalo s touto závislosťou vo všetkých prípadoch. V porovnávaní týchto veličín treba zohľadniť a zosúladiť časový moment odtrhovej sily a danej Brillouinovej frekvencie. Porovnávať sa spoločne budú teda odtrhové sily a Brillouinové frekvencie namerané v rovnaký časový okamih. Pre príklad sú uvedené prípady, kedy k závislosti dochádza a tiež aj kedy nedochádza. Ostatné grafy sú ako dôkaz uvedené v prílohách I a J

7.1 Optické vlákno G.652d

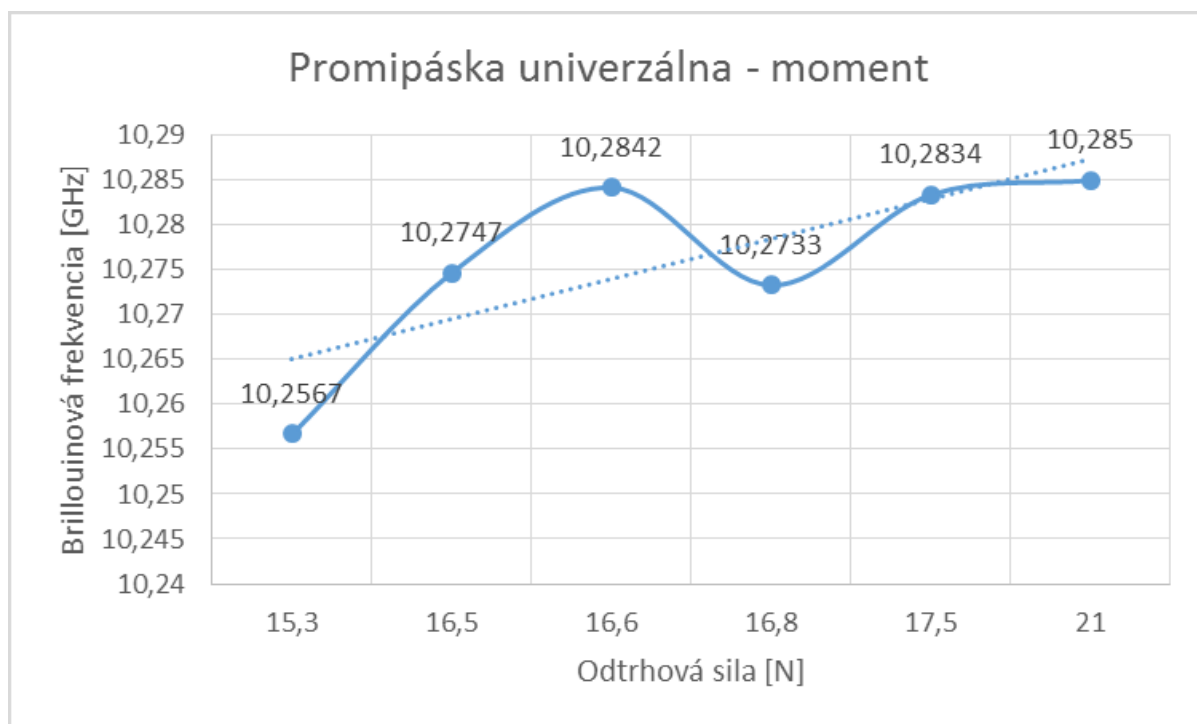


Obrázok 7.1: Závislosť Brillouinovej frekvencie a odtrhovej sily pre Venture Tape 1553 CW

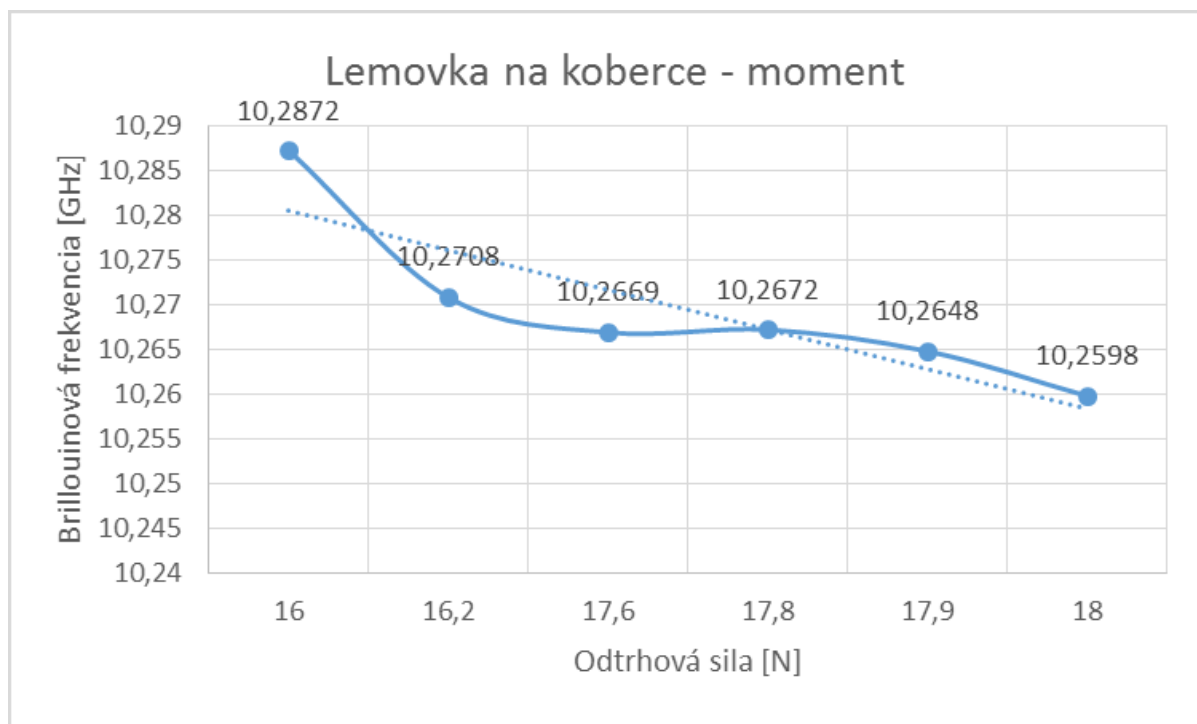


Obrázok 7.2: Závislosť Brillouinovej frekvencie a odtrhovej sily pre Tesa 53689

7.2 Optické vlákno G.652a



Obrázok 7.3: Závislosť Brillouinovej frekvencie a odtrhovej sily pre Promipásku univerzálnu



Obrázok 7.4: Závislosť Brillouinovej frekvencie a odtrhovej sily pre Lemovku na koberce

7.3 Zhodnotenie možnej súvislosti odtrhovej sily a Brillouinovej frekvencie

V skutočnosti v žiadnom zo všetkých 30 porovnaní sa nenašla súvislosť medzi odtrhovou silou a príslušnou Brillouinovou frekvenciou. Grafy jasne vyvracajú predpoklad o priamej úmere zvyšujúcej sa odtrhovej sily a Brillouinovej frekvencie. Bohužiaľ hľadaniu spojitosti sa medzi týmito dvoma veličinami nájsť nepodarilo a tento predpoklad sa musí vyvrátiť. Počas hľadania tejto korelácie sa našli prípady, kedy sa so zvyšujúcou odtrhovou silou ale aj znižujúcou odtrhovou silou zvyšovala Brillouinová frekvencia. Z dôvodu neúspechu už pri prvých porovnaníach nemožno uzákoniť túto závislosť ako obecnú pre všetky pásy.

8 Záver

Rozširovanie nových poznatkov v rámci optických distribuovaných senzorových aplikácií je nevyhnutnou potrebou pre zaistenie ich použiteľnosti v priemysle. Správnou inštaláciou senzorických optických vlákien možno doceliť maximálnu mieru presnosti získavaných hodnôt monitorovanej veličiny.

Poslaním tejto diplomovej práce bolo priniesť nové poznatky v oblasti uchycovania optických vlákien pomocou fixačných pások na podlahových materiáloch. Jednotlivé fázy merania sa sústreďujú na pozorovanie vplyvu týchto fixačných pások na optické vlákna a analyzujú ich správanie v časových závislostiach. Celú prácu je možné rozdeliť na tri hlavné nadväzujúce kapitoly.

Skúmaním správania sa fixačných pások pri meraní odtrhovej sily sa zistili kľúčové hodnoty, ktoré pre začiatok načrtli prvotný charakter ich lepidlivosti na podlahových materiáloch a príľnavosti na jednotlivých optických vláknach. Tieto hodnoty sú veľmi dôležité pre budúcnosť fixácií tohto typu, pretože ich neudáva ani jeden výrobca použitých podlahových či vláknovo-optických materiálov. Spracované výsledky pre obe testované vlákna popisuje kapitola 5.

Analýza Brillouinových frekvencií umožnila chápať kvalitu uchytenia optického vlákna z pohľadu jeho vnútra. Tento test pomohol zistiť kvalitu uchytenia v rámci vlákna ako senzoru. Brillouinové frekvencie totiž určili mieru potrebnej príľnavosti fixačnej pásky na vlákno pre dané materiály, ktorá je potrebná pre získavanie najpresnejších hodnôt z DSTS systému. Zhodnotenie týchto koexistencií vybraných materiálov a fixačných pások je rozobrané v kapitole 6.

Poslednou experimentálnou úlohou, ktorá pozostávala z predošlých dvoch testov bolo nájsť určitú časovú súvislosť odtrhovej sily a Brillouinových frekvencií. Vzájomným porovnaním výsledkov v totožných časoch pre oba testy sa ukázalo, že fixačné pásky s veľkou odtrhovou silou nemusia dosahovať priamo úmerné veľkosti Brillouinových frekvencií. Inými slovami sa nemožno spoliehať na fakt, že vysoká odtrhová sila bude zárukou pre kvalitné a z časového hľadiska spoľahlivé fixačné riešenie. Príklad tohto sporu je uvedený v kapitole 7 a zbytok dôkazov je súčasťou príloh.

Hodnota výsledkov tohto výskumu by rástla úmerne s časom. Je otázne či by sa obdobné výsledky získali po mesiacoch či roku fixácie na daných materiáloch. Lepšie poznať fixačné vlastnosti daných pások by pomohla rovnaká analýza trasy vystavenej ďalším vonkajším vplyvom ako vibrácie, extrémne teploty, tlak a podobne. Dlhší časový interval by zároveň mohol ukázať, na akom materiáli, ktorá páska a ako veľmi stráca svoju účinnosť, čo by mohlo definovať životnosť fixácie týchto pások. Je tiež možná teória, že páska môže dlhodobo lepiť na podlahovom materiáli ale postupným vyťahovaním nemusí byť dostatočne príľnavá na optické vlákno a naopak.

Literatúra

- [1] KERKER, Milton. The scattering of light, and other electromagnetic radiation. New York: Academic Press, 1969. Physical chemistry, v. 16. ISBN 0-12-404550-2.
- [2] HULST, H. C. van de. Light scattering by small particles. New York: Dover Publications, 1981. Structure of matter series, v. 16. ISBN 04-866-4228-3.
- [3] BOHREN, Craig F. a Donald R. HUFFMAN. Poglošćenije i rassejanije sveta malymi časticami. Moskva: Mir, 1986.
- [4] FOX, Mark a Donald R. HUFFMAN. Optical properties of solids. New York: Oxford University Press, 2001. ISBN 01-985-0612-0.
- [5] R. Smith, "Optical Power Handling Capacity of Low Loss Optical Fibers as Determined by Stimulated Raman and Brillouin Scattering," Appl. Opt. 11, 2489-2494 (1972).
- [6] Pat Hanrahan and Wolfgang Krueger. 1993. Reflection from layered surfaces due to subsurface scattering. In Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (SIGGRAPH '93). ACM, New York, NY, USA, 165-174. DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/166117.166139>
- [7] Henrik Wann Jensen, Stephen R. Marschner, Marc Levoy and Pat Hanrahan: "A Practical Model for Subsurface Light Transport". Proceedings of SIGGRAPH'2001
- [8] Kasap, S. O. (Safa O.) Optoelectronics and photonics : principles and practices. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ ; [Great Britain], 2001.
- [9] E-Fyzika II. STUonline: OPTIKA [online]. [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: http://kf-lin.elf.stuba.sk/~ballo/STU_online/Fyzika%20II/e-fyzika2-frame-12optika.htm
- [10] Blue Sky and Rayleigh Scattering [online]. [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/atmos/blusky.html>
- [11] KAMINOW, Ivan P. a Thomas L. KOCH. Optical fiber telecommunications. San Diego, CA: Academic Press, c1997. ISBN 0123951712.
- [12] RP PhotonicsEncyclopedia: Rayleigh Scattering [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: https://www.rp-photonics.com/rayleigh_scattering.html
- [13] DADO, M., TUREK, I., ŠTELINA, J. , BITTERE, L., TUREK, S., GROLMUS, E., STIBOR, P.: Kapitoly z optiky pre technikov, Žilinská univerzita, Žilina, 1998. ISBN 80-7100-390-5.
- [14] Fischbach, D.J. and Sorensen, C.M.: Understanding the Mie Theory of Light Scattering, APS Meeting Abstracts, March 1998
- [15] MARŠÁLEK, Leoš. Optická vlákna [online]. 2006. [vid. 2014-02-23] Dostupné z: <http://www.goro.czweb.org/download/interest/vlakna.pdf>

- [16] LÁTAL, J., P. KOUDELKA, F. HANÁČEK a P. ŠIŠKA. Úvod do distribuovaných optovláknových systémů založených na Ramanově jevu pro měření teploty [online]. 2010 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2010030001>
- [17] MCCREERY, R.L. Raman Spectroscopy for Chemical Analysis. Winefordner: John Wiley & Sons, Inc., © 2000, 420 s. ISBN 9780471252870.
- [18] AGRAWAL, P., G. Nonlinear Fiber Optics. 3.vydání. 2001. 467 s. ISBN 0-12-045143-3.
- [19] Ramaswamy, Rajiv a Kumar N. Sivarajan. Optical Networks a practical prespective. London: Academica Pres, 2002. s. 600. ISBN: 1-55860-655-6
- [20] OMNISENS SA. User Manual DITEST STA-R: UM-018a [online]. 2008 [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: www.omnisens.com
- [21] Turán, Ján. Optické komunikačné systémy. ELFA Košice, 1999. s. 52. ISBN 80-88964-20-2

Zoznam príloh

Príloha A: Odtrhové sily vlákna č.1 v okamihu	I
Príloha B: Odtrhové sily vlákna č.1 po 48 hodinách	VI
Príloha C: Odtrhové sily vlákna č.1 po 168 hodinách.....	XI
Príloha D: Odtrhové sily vlákna č.2 v okamihu.....	XVI
Príloha E: Odtrhové sily vlákna č.1 po 48 hodinách	XXI
Príloha F: Odtrhové sily vlákna č.1 po 168 hodinách.....	XXVI
Príloha G: Tabuľka priemerných miním a priemerných maxím odtrhových síl pre vlákno č.1.....	XXXI
Príloha H: Tabuľka priemerných miním a priemerných maxím odtrhových síl pre vlákno č.2.....	XXXII
Príloha I: Grafy odtrhových síl v závislosti od Brillouinovej frekvencie pre vlákno č.1.....	XXXIII
Príloha J: Grafy odtrhových síl v závislosti od Brillouinovej frekvencie pre vlákno č.2	XXVIII

Súčasťou DP je CD.

Adresárová štruktúra priloženého CD:

\Katalógové listy fixačných pások

\Katalógové list štandardov optických vlákien

\OTDR námer

\exports DSTS

Príloha A: *Odtrhové sily vlákna č.1 v okamihu*

Tesa/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	19	15
2.	17	14
3.	19	13
4.	15	10
5.	15,5	13
E(X)	17,1	13
σ	1,9	1,9
D(X)	3,6	3,5

Tesa/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	18	11,6
2.	17,7	13
3.	17	12,8
4.	18	12
5.	18,2	12,5
E(X)	17,8	12,4
σ	0,5	0,6
D(X)	0,2	0,3

Tesa/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	17	11,5
2.	19	13
3.	16	11,7
4.	17	12
5.	18	13
E(X)	17,4	12,2
σ	1,1	0,7
D(X)	1,3	0,5

Tesa/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	23,5	15,5
2.	21	16,3
3.	18	13,5
4.	19,5	14
5.	20	15
E(X)	20,4	14,9
σ	2,0	1,1
D(X)	4,2	1,3

Tesa/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	21	16
2.	22	15
3.	24	19
4.	22	16,5
5.	20	17
E(X)	21,8	16,7
σ	1,5	1,5
D(X)	2,2	2,2

Tesa/PVC lino		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	19	14
2.	20,7	17
3.	19,9	15
4.	19	14,5
5.	20	17,5
E(X)	19,7	15,6
σ	0,7	1,6
D(X)	0,5	2,4

Lemovka na koberce/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	21	13,5
2.	21	13
3.	20	14
4.	17	12,5
5.	19	13
E(X)	19,6	13,2
σ	1,7	0,6
D(X)	2,8	0,3

Lemovka na koberce/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	24,5	16,5
2.	21	14,3
3.	23	16
4.	22,5	15
5.	24	16
E(X)	23	15,6
σ	1,4	0,9
D(X)	1,9	0,8

Lemovka na koberce/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	17	12,5
2.	20	13
3.	21	11,2
4.	21	13,3
5.	19	12
E(X)	19,6	12,4
σ	1,7	0,8
D(X)	2,8	0,7

Lemovka na koberce/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	17	11
2.	25	15
3.	23,9	15,5
4.	24	13
5.	23,5	14
E(X)	22,7	13,7
σ	3,2	1,8
D(X)	10,4	3,2

Lemovka na koberce/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	24	13,5
2.	23,7	14
3.	22	13,7
4.	22,5	13
5.	23	14,2
E(X)	23	13,7
σ	0,8	0,5
D(X)	0,7	0,2

Lemovka na koberce/PVC lino		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	27	14,4
2.	27	14,7
3.	24	14
4.	25	13,8
5.	23	12,5
E(X)	25,2	13,9
σ	1,8	0,8
D(X)	3,2	0,7

Duct Tape/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	14	6
2.	14	6
3.	15	6,5
4.	12,5	7,3
5.	13,6	6,5
E(X)	13,8	6,5
σ	0,9	0,5
D(X)	0,8	0,3

Duct Tape/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	15,5	8
2.	18	9
3.	15,5	7
4.	16	8,5
5.	17	9
E(X)	16,4	8,3
σ	1,1	0,8
D(X)	1,2	0,7

Duct Tape/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	15	6
2.	16	7,5
3.	17	7,2
4.	16,5	6,5
5.	15,9	7
E(X)	16,1	6,8
σ	0,7	0,6
D(X)	0,6	0,4

Duct Tape/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	15	7
2.	13,9	8,4
3.	11	7
4.	12	6,9
5.	14	8,2
E(X)	13,2	7,5
σ	1,6	0,7
D(X)	2,7	0,5

Duct Tape/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	14	11,2
2.	16,3	5,7
3.	13,5	7
4.	13	7,2
5.	15	8
E(X)	14,4	7,8
σ	1,3	2,1
D(X)	1,7	4,3

Duct Tape/PVC lino		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	13	5,8
2.	13,3	5,9
3.	14	9
4.	12,5	6
5.	13,3	6,5
E(X)	13,2	6,6
σ	0,5	1,3
D(X)	0,3	1,8

Promipáska univerzálna/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	28	18
2.	24	15
3.	22	14
4.	30	17
5.	27	16
E(X)	26,2	16
σ	3,2	1,6
D(X)	10,2	2,5

Promipáska univerzálna/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	27	17,2
2.	26	18
3.	28	18,9
4.	27	17
5.	26,9	18,2
E(X)	27	17,9
σ	0,7	0,8
D(X)	0,5	0,6

Promipáska univerzálna/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	28	18
2.	32	19
3.	24	15
4.	27	16,7
5.	25	17,2
E(X)	27,2	17,2
σ	3,1	1,5
D(X)	9,7	2,2

Promipáska univerzálna/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	27	15,5
2.	31,5	18
3.	30	16,8
4.	28,5	17
5.	29	17,2
E(X)	29,2	16,9
σ	1,7	0,9
D(X)	2,8	0,8

Promipáska univerzálna/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	26,3	20
2.	28	17
3.	35	19
4.	29	18,5
5.	28	19
E(X)	29,3	18,7
σ	3,4	1,1
D(X)	11,2	1,2

Promipáska univerzálna/PVC lino		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	28	19
2.	29	17
3.	31	20,7
4.	30	20
5.	29,5	17,9
E(X)	29,5	18,9
σ	1,1	1,5
D(X)	1,3	2,3

VentureTape/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	22	9
2.	24	9
3.	25	9
4.	24	9
5.	22	10
E(X)	23,4	9,2
σ	1,3	0,4
D(X)	1,8	0,2

VentureTape/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	26	0
2.	27,9	0
3.	27,7	0
4.	26,5	0
5.	28	0
E(X)	27,2	0
σ	0,9	0,0
D(X)	0,8	0,0

VentureTape/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	26	0
2.	30	0
3.	24	0
4.	25	0
5.	26	0
E(X)	26,2	0
σ	2,3	0,0
D(X)	5,2	0,0

VentureTape/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	28	0
2.	28,7	0
3.	25	0
4.	27	0
5.	29	0
E(X)	27,4	0
σ	1,6	0,0
D(X)	2,6	0,0

VentureTape/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	25	0
2.	26	0
3.	24,5	0
4.	25	0
5.	25,9	0
E(X)	25,3	0
σ	0,6	0,0
D(X)	0,4	0,0

VentureTape/PVC lino		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	27	10
2.	25	9
3.	27,2	9,8
4.	26	10
5.	25,4	9,2
E(X)	26,1	9,6
σ	1,0	0,5
D(X)	0,9	0,2

Príloha B: *Odtrhové sily vlákna č.1 po 48. hod.*

Tesa/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	15	0
2.	16,2	0
3.	16,1	0
4.	14,5	0
5.	17	0
E(X)	15,8	0
σ	1,0	0,0
D(X)	1,0	0,0

Tesa/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	11,2	4
2.	15,1	3
3.	13,8	3
4.	15,9	4,9
5.	14	3,2
E(X)	14	3,6
σ	1,8	0,8
D(X)	3,2	0,7

Tesa/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	15	0
2.	17	0
3.	14,7	0
4.	16	0
5.	16,2	0
E(X)	15,8	0
σ	0,9	0,0
D(X)	0,9	0,0

Tesa/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	20,4	0
2.	16,6	6
3.	16,9	8
4.	17,1	0
5.	16,2	7,3
E(X)	17,4	4,3
σ	1,7	4,0
D(X)	2,9	15,6

Tesa/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	19,7	0
2.	17,6	12,6
3.	14	12
4.	16,3	12
5.	18	0
E(X)	17,1	7,3
σ	2,1	6,7
D(X)	4,5	44,7

Tesa/PVC lino		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	12,4	3
2.	14,7	6
3.	16,9	4
4.	13,5	5
5.	15	4
E(X)	14,5	4,4
σ	1,7	1,1
D(X)	2,9	1,3

Lemovka na koberce/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	8	0
2.	10,1	0
3.	9,3	0
4.	8,5	0
5.	9	0
E(X)	9	0
σ	0,8	0,0
D(X)	0,6	0,0

Lemovka na koberce/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	18	0
2.	16,9	0
3.	20	15,3
4.	17,5	0
5.	18,1	14
E(X)	18,1	5,9
σ	1,2	8,0
D(X)	1,4	64,6

Lemovka na koberce/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	15,1	0
2.	13,6	0
3.	13,9	0
4.	14,4	0
5.	14	0
E(X)	14,2	0
σ	0,6	0,0
D(X)	0,3	0,0

Lemovka na koberce/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	10,6	0
2.	17	14
3.	10,1	0
4.	12	0
5.	16	13
E(X)	13,1	5,4
σ	3,2	7,4
D(X)	10,0	54,8

Lemovka na koberce/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	20	18
2.	20,1	16,8
3.	18	13
4.	21	19
5.	17	16
E(X)	19,2	16,6
σ	1,7	2,3
D(X)	2,7	5,3

Lemovka na koberce/PVC lino		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	9,7	0
2.	7,9	0
3.	7,3	0
4.	8	0
5.	8,5	0
E(X)	8,3	0
σ	0,9	0,0
D(X)	0,8	0,0

Duct Tape/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	6,1	0
2.	4,2	0
3.	7,8	0
4.	5	0
5.	6,5	0
E(X)	5,9	0
σ	1,4	0,0
D(X)	1,9	0,0

Duct Tape/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	6,8	0
2.	4	0
3.	5,2	0
4.	5,6	0
5.	5	0
E(X)	5,3	0
σ	1,0	0,0
D(X)	1,0	0,0

Duct Tape/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	9,4	0
2.	6,5	0
3.	7,3	0
4.	9	0
5.	7,1	0
E(X)	7,9	0
σ	1,3	0,0
D(X)	1,6	0,0

Duct Tape/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	8	0
2.	6	0
3.	6,5	0
4.	8	0
5.	7	0
E(X)	7,1	0
σ	0,9	0,0
D(X)	0,8	0,0

Duct Tape/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	7	0
2.	6,7	0
3.	4,9	0
4.	5,5	0
5.	6,9	0
E(X)	6,2	0
σ	0,9	0,0
D(X)	0,9	0,0

Duct Tape/PVC lino		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	5,7	0
2.	2	0
3.	4,2	0
4.	3,1	0
5.	5,1	0
E(X)	4	0
σ	1,5	0,0
D(X)	2,2	0,0

Promipáska univerzálna/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	24	5
2.	32	12
3.	29,5	14
4.	26	9
5.	24,5	8
E(X)	27,2	9,6
σ	3,4	3,5
D(X)	11,8	12,3

Promipáska univerzálna/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	30	17
2.	33,6	18,7
3.	38	16
4.	35	18,2
5.	37	17,8
E(X)	34,7	17,5
σ	3,1	1,1
D(X)	9,9	1,1

Promipáska univerzálna/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	24	0
2.	33	0
3.	41	0
4.	38,2	0
5.	40	0
E(X)	35,2	0
σ	7,0	0,0
D(X)	49,0	0,0

Promipáska univerzálna/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	46,7	0
2.	29	0
3.	31	0
4.	35	0
5.	39	0
E(X)	36,1	0
σ	7,0	0,0
D(X)	49,6	0,0

Promipáska univerzálna/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	27	17,8
2.	32	15,6
3.	27	15,9
4.	33	18
5.	28	14
E(X)	29,4	16,3
σ	2,9	1,7
D(X)	8,3	2,8

Promipáska univerzálna/PVC lino		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	30	23
2.	33,9	16
3.	27,6	15
4.	31	22
5.	29	17,4
E(X)	30,3	18,7
σ	2,4	3,6
D(X)	5,6	13,0

VentureTape/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	32	0
2.	31,6	0
3.	25	0
4.	28,2	0
5.	30	0
E(X)	29,4	0
σ	2,9	0,0
D(X)	8,2	0,0

VentureTape/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	32,9	0
2.	30,6	0
3.	32,4	0
4.	31	0
5.	33,5	0
E(X)	32,1	0
σ	1,2	0,0
D(X)	1,5	0,0

VentureTape/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	19	0
2.	30,5	0
3.	27,6	0
4.	25,1	0
5.	32	0
E(X)	26,8	0
σ	5,1	0,0
D(X)	26,3	0,0

VentureTape/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	28,5	0
2.	29	0
3.	24,7	0
4.	28,1	0
5.	27	0
E(X)	27,5	0
σ	1,7	0,0
D(X)	2,9	0,0

VentureTape/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	26,9	0
2.	28,8	0
3.	25,2	0
4.	27,1	0
5.	28	0
E(X)	27,2	0
σ	1,4	0,0
D(X)	1,8	0,0

VentureTape/PVC lino		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	25	0
2.	29,1	0
3.	32,2	0
4.	30	0
5.	25	0
E(X)	28,3	0
σ	3,2	0,0
D(X)	10,1	0,0

Príloha C: *Odtrhové sily vlákna č.1 po 168 hod.*

Tesa/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	19,7	0
2.	16,06	0
3.	21,4	0
4.	18,5	0
5.	19	0
E(X)	18,9	0
σ	1,9	0,0
D(X)	3,8	0,0

Tesa/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	18	0
2.	20	0
3.	15,7	0
4.	18,7	0
5.	17,9	0
E(X)	18,1	0
σ	1,6	0,0
D(X)	2,4	0,0

Tesa/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	19,2	0
2.	19,2	0
3.	19,5	0
4.	21	0
5.	20,2	0
E(X)	19,8	0
σ	0,8	0,0
D(X)	0,6	0,0

Tesa/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	23,1	0
2.	23,9	0
3.	23,8	0
4.	24	0
5.	25,1	0
E(X)	24	0
σ	0,7	0,0
D(X)	0,5	0,0

Tesa/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	28	0
2.	18	0
3.	23,5	0
4.	25	0
5.	21,2	0
E(X)	23,1	0
σ	3,8	0,0
D(X)	14,3	0,0

Tesa/PVC lino		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	20,9	0
2.	21,2	0
3.	18,3	0
4.	19,9	0
5.	20	0
E(X)	20,1	0
σ	1,1	0,0
D(X)	1,3	0,0

Lemovka na koberce/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	11	0
2.	17	0
3.	12,8	0
4.	13,1	0
5.	14	0
E(X)	13,6	0
σ	2,2	0,0
D(X)	4,8	0,0

Lemovka na koberce/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	18	0
2.	14	0
3.	18,4	0
4.	16,5	0
5.	17,8	0
E(X)	16,9	0
σ	1,8	0,0
D(X)	3,2	0,0

Lemovka na koberce/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	16,1	0
2.	17,1	0
3.	10,1	0
4.	13	0
5.	14	0
E(X)	14,1	0
σ	2,7	0,0
D(X)	7,6	0,0

Lemovka na koberce/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	16	0
2.	15,2	0
3.	18,7	0
4.	17,1	0
5.	16,5	0
E(X)	16,7	0
σ	1,3	0,0
D(X)	1,7	0,0

Lemovka na koberce/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	13	0
2.	13,1	0
3.	17,2	0
4.	14,7	0
5.	15	0
E(X)	14,6	0
σ	1,7	0,0
D(X)	2,9	0,0

Lemovka na koberce/PVC lino		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	16	0
2.	14,4	0
3.	12,9	0
4.	13,7	0
5.	14	0
E(X)	14,2	0
σ	1,1	0,0
D(X)	1,3	0,0

Duct Tape/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	6,7	0
2.	6	0
3.	7	0
4.	6,2	0
5.	5	0
E(X)	6,2	0
σ	0,8	0,0
D(X)	0,6	0,0

Duct Tape/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	6	0
2.	9	0
3.	7,2	0
4.	5,12	0
5.	6,1	0
E(X)	6,7	0
σ	1,5	0,0
D(X)	2,2	0,0

Duct Tape/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	9,2	0
2.	8	0
3.	7,9	0
4.	8,5	0
5.	8	0
E(X)	8,3	0
σ	0,5	0,0
D(X)	0,3	0,0

Duct Tape/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	7,8	0
2.	7,8	0
3.	6,1	0
4.	8	0
5.	7,1	0
E(X)	7,4	0
σ	0,8	0,0
D(X)	0,6	0,0

Duct Tape/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	10,1	0
2.	8,3	0
3.	9,1	0
4.	6,7	0
5.	7	0
E(X)	8,2	0
σ	1,4	0,0
D(X)	2,0	0,0

Duct Tape/PVC lino		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	7,3	0
2.	6,5	0
3.	6,2	0
4.	5	0
5.	5,1	0
E(X)	6	0
σ	1,0	0,0
D(X)	0,9	0,0

Promipáska univerzálna/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	31,7	0
2.	23,9	0
3.	39	0
4.	28	0
5.	30	0
E(X)	30,5	0
σ	5,6	0,0
D(X)	30,9	0,0

Promipáska univerzálna/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	36	0
2.	30,1	0
3.	38,2	0
4.	35	0
5.	36	0
E(X)	35,1	0
σ	3,0	0,0
D(X)	9,1	0,0

Promipáska univerzálna/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	26,4	0
2.	34,8	0
3.	30,9	0
4.	32,1	0
5.	33	0
E(X)	31,4	0
σ	3,2	0,0
D(X)	10,0	0,0

Promipáska univerzálna/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	40,1	0
2.	30	0
3.	35,2	0
4.	27,1	0
5.	32	0
E(X)	32,9	0
σ	5,0	0,0
D(X)	25,0	0,0

Promipáska univerzálna/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	40	0
2.	34,5	0
3.	34,7	0
4.	35	0
5.	36,2	0
E(X)	36,1	0
σ	2,3	0,0
D(X)	5,2	0,0

Promipáska univerzálna/PVC lino		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	27,4	0
2.	34	0
3.	43	0
4.	38,1	0
5.	39	0
E(X)	36,3	0
σ	5,9	0,0
D(X)	35,0	0,0

VentureTape/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	32	0
2.	37,7	0
3.	33,3	0
4.	35	0
5.	34	0
E(X)	34,4	0
σ	2,1	0,0
D(X)	4,6	0,0

VentureTape/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	29	0
2.	33	0
3.	32	0
4.	31,6	0
5.	30	0
E(X)	31,1	0
σ	1,6	0,0
D(X)	2,6	0,0

VentureTape/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	39,6	0
2.	38,4	0
3.	37,4	0
4.	36,1	0
5.	39	0
E(X)	38,1	0
σ	1,4	0,0
D(X)	1,9	0,0

VentureTape/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	32,2	0
2.	31,2	0
3.	30,8	0
4.	31	0
5.	30	0
E(X)	31	0
σ	0,8	0,0
D(X)	0,6	0,0

VentureTape/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	34	0
2.	35,4	0
3.	30,8	0
4.	30,1	0
5.	33	0
E(X)	32,7	0
σ	2,2	0,0
D(X)	4,9	0,0

VentureTape/PVC lino		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	39	0
2.	38,5	0
3.	36,2	0
4.	39,1	0
5.	38,2	0
E(X)	38,2	0
σ	1,2	0,0
D(X)	1,4	0,0

Príloha D: *Odtrhové sily vlákna č.2 v okamihu*

Tesa/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	17,1	11
2.	17,4	8
3.	15,4	9,2
4.	16	11
5.	17	12,5
E(X)	16,6	10,3
σ	0,8	1,8
D(X)	0,7	3,1

Tesa/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	16,2	9,5
2.	15,6	11,7
3.	16,3	9,8
4.	14,8	10
5.	15	11
E(X)	15,6	10,4
σ	0,7	0,9
D(X)	0,5	0,8

Tesa/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	17	11,4
2.	14,2	8,9
3.	15,4	10,7
4.	16	8,3
5.	16,9	11
E(X)	15,9	10,1
σ	1,2	1,4
D(X)	1,3	1,9

Tesa/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	13	8,4
2.	13,7	9
3.	16,1	9
4.	14,5	8,5
5.	13,2	9
E(X)	14,1	8,8
σ	1,3	0,3
D(X)	1,6	0,1

Tesa/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	12,6	9,8
2.	20,1	12,8
3.	21,7	13
4.	17,7	12,3
5.	17	11
E(X)	17,8	11,8
σ	3,5	1,4
D(X)	12,0	1,8

Tesa/PVC lino		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	16,7	8
2.	15,8	9
3.	15,4	9,6
4.	14,8	9,2
5.	16,5	10
E(X)	15,8	9,2
σ	0,8	0,8
D(X)	0,6	0,6

Lemovka na koberce/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	15,2	7,1
2.	17,2	8,5
3.	16,1	8,2
4.	16	9
5.	16,5	7,5
E(X)	16,2	8,1
σ	0,7	0,8
D(X)	0,5	0,6

Lemovka na koberce/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	18,2	4,8
2.	17,5	9
3.	17,3	8,6
4.	16,9	9,9
5.	17,9	9
E(X)	17,6	8,3
σ	0,5	2,0
D(X)	0,3	4,0

Lemovka na koberce/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	20,7	9,8
2.	17	8,9
3.	16,7	9
4.	18,2	8,9
5.	17	10
E(X)	17,9	9,3
σ	1,7	0,5
D(X)	2,7	0,3

Lemovka na koberce/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	16,7	11,9
2.	18,2	11,9
3.	19,7	11
4.	17	10
5.	18,5	12,3
E(X)	18	11,4
σ	1,2	0,9
D(X)	1,5	0,9

Lemovka na koberce/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	18,1	12,5
2.	17,9	12
3.	18,6	10,9
4.	17,1	12,3
5.	17,2	11
E(X)	17,8	11,7
σ	0,6	0,7
D(X)	0,4	0,6

Lemovka na koberce/PVC lino		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	17,3	0
2.	15,6	0
3.	14,4	0
4.	15,5	0
5.	17,1	0
E(X)	16	0
σ	1,2	0,0
D(X)	1,5	0,0

Duct Tape/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	8	3
2.	10,7	2,2
3.	9,2	3,1
4.	9	2
5.	8,8	3
E(X)	9,1	2,7
σ	1,0	0,5
D(X)	1,0	0,3

Duct Tape/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	10,8	0
2.	9,8	0
3.	10,8	0
4.	11	0
5.	10,1	0
E(X)	10,5	0
σ	0,5	0,0
D(X)	0,3	0,0

Duct Tape/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	9,2	3,9
2.	10	4,8
3.	8,5	5,2
4.	8	4,9
5.	9,9	5,8
E(X)	9,1	4,9
σ	0,9	0,7
D(X)	0,8	0,5

Duct Tape/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	7,4	7,4
2.	11	8
3.	11	9
4.	10	7,2
5.	10,5	8
E(X)	10	7,9
σ	1,5	0,7
D(X)	2,3	0,5

Duct Tape/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	12,6	10,8
2.	10	5,14
3.	13,5	8,6
4.	11,2	7
5.	10,5	6,9
E(X)	11,6	7,7
σ	1,5	2,1
D(X)	2,1	4,5

Duct Tape/PVC lino		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	10,2	0
2.	16,4	0
3.	8,9	0
4.	10,2	0
5.	11,2	0
E(X)	11,4	0
σ	2,9	0,0
D(X)	8,5	0,0

Promipáska univerzálna/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	17	11
2.	14	6
3.	15	7
4.	16,5	7
5.	14,2	6
E(X)	15,3	7,4
σ	1,4	2,1
D(X)	1,8	4,3

Promipáska univerzálna/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	17,4	0
2.	17,5	0
3.	15,8	0
4.	16,1	0
5.	17,2	0
E(X)	16,8	0
σ	0,8	0,0
D(X)	0,6	0,0

Promipáska univerzálna/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	17,9	10
2.	17,5	6,9
3.	14	9
4.	16,5	8
5.	17,1	9,8
E(X)	16,6	8,7
σ	1,5	1,3
D(X)	2,4	1,7

Promipáska univerzálna/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	15,5	7
2.	18	10,5
3.	16,7	8
4.	17,2	11
5.	14,9	9
E(X)	16,5	9,1
σ	1,3	1,7
D(X)	1,6	2,8

Promipáska univerzálna/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	22	0
2.	23	0
3.	19,2	0
4.	20	0
5.	21	0
E(X)	21	0
σ	1,5	0,0
D(X)	2,3	0,0

Promipáska univerzálna/PVC lino		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	21,7	0
2.	14	0
3.	18	0
4.	16,5	0
5.	17,2	0
E(X)	17,5	0
σ	2,8	0,0
D(X)	7,8	0,0

VentureTape/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	10,4	4
2.	11,2	3,8
3.	9,2	3,2
4.	10,8	3
5.	9,9	3,5
E(X)	10,3	3,5
σ	0,8	0,4
D(X)	0,6	0,2

VentureTape/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	5	4
2.	3	3
3.	4	3
4.	5	4,2
5.	4	2
E(X)	4,2	3,2
σ	0,8	0,9
D(X)	0,7	0,8

VentureTape/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	8,5	3
2.	8,3	3,5
3.	7,9	3,1
4.	8,1	3,9
5.	7,2	3
E(X)	8	3,3
σ	0,5	0,4
D(X)	0,3	0,2

VentureTape/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	11	0
2.	8,9	0
3.	11,2	0
4.	9,5	0
5.	10	0
E(X)	10,1	0
σ	1,0	0,0
D(X)	1,0	0,0

VentureTape/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	13,4	4
2.	10	5,3
3.	11,2	6
4.	10	4
5.	10,6	5,3
E(X)	11	4,9
σ	1,4	0,9
D(X)	2,0	0,8

VentureTape/PVC lino		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	10,2	0
2.	10,19	0
3.	10,3	0
4.	11	0
5.	10,1	0
E(X)	10,3	0
σ	0,4	0,0
D(X)	0,1	0,0

Príloha E: *Odtrhové sily vlákna č.2 po 48. hod.*

Tesa/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	14,9	0
2.	12,5	0
3.	11,7	0
4.	13	0
5.	12,9	0
E(X)	13	0
σ	1,2	0,0
D(X)	1,4	0,0

Tesa/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	10,12	0
2.	10,5	0
3.	9,7	0
4.	10,5	0
5.	11	0
E(X)	10,4	0
σ	0,5	0,0
D(X)	0,2	0,0

Tesa/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	8,6	0
2.	9,1	0
3.	10,11	0
4.	9,5	0
5.	9	0
E(X)	9,3	0
σ	0,6	0,0
D(X)	0,3	0,0

Tesa/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	14,2	0
2.	14,1	0
3.	15,5	0
4.	13,31	0
5.	13,4	0
E(X)	14,1	0
σ	0,9	0,0
D(X)	0,8	0,0

Tesa/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	13,7	0
2.	12,3	0
3.	15,3	0
4.	14	0
5.	14,1	0
E(X)	13,9	0
σ	1,1	0,0
D(X)	1,2	0,0

Tesa/PVC lino		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	12,3	0
2.	13,8	0
3.	14,19	0
4.	13,5	0
5.	12,9	0
E(X)	13,3	0
σ	0,7	0,0
D(X)	0,6	0,0

Lemovka na koberce/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	12,3	0
2.	16,15	0
3.	12,34	0
4.	10,5	0
5.	15,1	0
E(X)	13,3	0
σ	2,3	0,0
D(X)	5,3	0,0

Lemovka na koberce/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	15,6	0
2.	14,4	0
3.	16,2	0
4.	15,1	0
5.	14,9	0
E(X)	15,2	0
σ	0,7	0,0
D(X)	0,5	0,0

Lemovka na koberce/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	10,89	0
2.	11,77	0
3.	12,04	0
4.	12,1	0
5.	11	0
E(X)	11,6	0
σ	0,6	0,0
D(X)	0,3	0,0

Lemovka na koberce/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	16,5	0
2.	16,3	0
3.	18,5	0
4.	17,1	0
5.	16,5	0
E(X)	17	0
σ	0,9	0,0
D(X)	0,8	0,0

Lemovka na koberce/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	14,5	0
2.	11,9	0
3.	11,4	0
4.	12,5	0
5.	12	0
E(X)	12,5	0
σ	1,2	0,0
D(X)	1,5	0,0

Lemovka na koberce/PVC lino		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	13,9	0
2.	13,7	0
3.	13,2	0
4.	12,9	0
5.	14,1	0
E(X)	13,6	0
σ	0,5	0,0
D(X)	0,2	0,0

Duct Tape/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	3,6	0
2.	5,5	0
3.	4	0
4.	3,8	0
5.	4,2	0
E(X)	4,2	0
σ	0,7	0,0
D(X)	0,6	0,0

Duct Tape/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	7	0
2.	3,3	0
3.	4,1	0
4.	3,3	0
5.	5,1	0
E(X)	4,6	0
σ	1,6	0,0
D(X)	2,4	0,0

Duct Tape/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	1	0
2.	3	0
3.	4	0
4.	2	0
5.	3	0
E(X)	2,6	0
σ	1,1	0,0
D(X)	1,3	0,0

Duct Tape/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	5,2	0
2.	3,7	0
3.	3	0
4.	4,2	0
5.	3,9	0
E(X)	4	0
σ	0,8	0,0
D(X)	0,6	0,0

Duct Tape/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	5,5	0
2.	4	0
3.	5,1	0
4.	4,9	0
5.	6	0
E(X)	5,1	0
σ	0,7	0,0
D(X)	0,6	0,0

Duct Tape/PVC lino		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	9,5	0
2.	3	0
3.	4,1	0
4.	5	0
5.	2,9	0
E(X)	4,9	0
σ	2,7	0,0
D(X)	7,4	0,0

Promipáska univerzálna/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	17,9	0
2.	20,8	0
3.	21	0
4.	20,5	0
5.	19,2	0
E(X)	19,9	0
σ	1,3	0,0
D(X)	1,7	0,0

Promipáska univerzálna/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	27	0
2.	21,2	0
3.	pretrhnutie	0
4.	pretrhnutie	0
5.	pretrhnutie	0
E(X)	24,1	0
σ	4,1	0,0
D(X)	16,8	0,0

Promipáska univerzálna/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	20,6	0
2.	24,5	0
3.	pretrhnutie	0
4.	pretrhnutie	0
5.	pretrhnutie	0
E(X)	22,5	0
σ	2,7	0,0
D(X)	7,6	0,0

Promipáska univerzálna/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	24,2	0
2.	22,9	0
3.	24,3	0
4.	pretrhnutie	0
5.	pretrhnutie	0
E(X)	23,6	0
σ	0,8	0,0
D(X)	0,6	0,0

Promipáska univerzálna/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	pretrhnutie	0
2.	pretrhnutie	0
3.	23	0
4.	23,2	0
5.	20	0
E(X)	22,1	0
σ	1,8	0,0
D(X)	3,2	0,0

Promipáska univerzálna/PVC lino		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	22	0
2.	pretrhnutie	0
3.	pretrhnutie	0
4.	pretrhnutie	0
5.	pretrhnutie	0
E(X)	22	0
σ	0,0	0,0
D(X)	0,0	0,0

VentureTape/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	6,7	0
2.	10,8	0
3.	11,5	0
4.	9,5	0
5.	11,3	0
E(X)	10	0
σ	2,0	0,0
D(X)	3,9	0,0

VentureTape/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	13,6	0
2.	12,9	0
3.	12,3	0
4.	14,2	0
5.	13,1	0
E(X)	13,2	0
σ	0,7	0,0
D(X)	0,5	0,0

VentureTape/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	8,3	0
2.	5,2	0
3.	9,7	0
4.	9,8	0
5.	8,9	0
E(X)	8,4	0
σ	1,9	0,0
D(X)	3,5	0,0

VentureTape/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	11,2	0
2.	10,9	0
3.	12,1	0
4.	10,5	0
5.	12	0
E(X)	11,3	0
σ	0,7	0,0
D(X)	0,5	0,0

VentureTape/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	13,4	0
2.	10,3	0
3.	12,97	0
4.	11,2	0
5.	10,2	0
E(X)	11,6	0
σ	1,5	0,0
D(X)	2,2	0,0

VentureTape/PVC lino		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	10,2	0
2.	14	0
3.	13,4	0
4.	12,1	0
5.	11	0
E(X)	12,1	0
σ	1,6	0,0
D(X)	2,5	0,0

Príloha F: *Odtrhové sily vlákna č.2 po 168. hod.*

Tesa/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	12,9	5
2.	14,14	9
3.	10,4	7,3
4.	12,1	7
5.	11	6,3
E(X)	12,1	6,9
σ	1,5	1,5
D(X)	2,2	2,1

Tesa/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	14,1	6,8
2.	19,1	8,6
3.	15	8,2
4.	17,7	7,3
5.	18	7
E(X)	16,8	7,6
σ	2,1	0,8
D(X)	4,5	0,6

Tesa/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	15,4	0
2.	12,2	0
3.	22	0
4.	17,1	0
5.	18,5	0
E(X)	17	0
σ	3,6	0,0
D(X)	13,2	0,0

Tesa/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	17,6	8,4
2.	14,3	7,1
3.	17,6	8,9
4.	16,5	7,2
5.	17	10,5
E(X)	16,6	8,4
σ	1,4	1,2
D(X)	1,9	1,9

Tesa/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	18,4	6
2.	12,9	7,1
3.	13,1	8
4.	14,2	9
5.	15,1	4
E(X)	14,7	6,8
σ	2,2	1,9
D(X)	5,0	3,7

Tesa/PVC lino		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	14	6
2.	12,6	6,3
3.	15,6	5,8
4.	13,3	6,2
5.	14,1	5,9
E(X)	13,9	6
σ	1,1	0,2
D(X)	1,2	0,0

Lemovka na koberce/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	14,3	6
2.	12,9	6
3.	13,8	5,5
4.	14	6,2
5.	13,5	5,9
E(X)	13,7	5,9
σ	0,5	0,3
D(X)	0,3	0,1

Lemovka na koberce/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	12,6	6
2.	19,7	7,4
3.	15,8	5,4
4.	16,1	6,2
5.	17,8	7,5
E(X)	16,4	6,5
σ	2,6	0,9
D(X)	6,9	0,8

Lemovka na koberce/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	15,4	0
2.	10,9	0
3.	12,2	0
4.	12,1	0
5.	13	0
E(X)	12,7	0
σ	1,7	0,0
D(X)	2,8	0,0

Lemovka na koberce/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	16,9	5
2.	17	6
3.	15,8	5,8
4.	14,9	7,1
5.	15	7
E(X)	15,9	6,2
σ	1,0	0,8
D(X)	1,0	0,8

Lemovka na koberce/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	12,4	5
2.	15,4	6,4
3.	14,1	7,1
4.	13,9	5
5.	14,5	7,2
E(X)	14,1	6,1
σ	1,1	1,1
D(X)	1,2	1,2

Lemovka na koberce/PVC lino		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	13,7	0
2.	14,8	0
3.	11,2	0
4.	12	0
5.	13	0
E(X)	12,9	0
σ	1,4	0,0
D(X)	2,0	0,0

Duct Tape/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	2	0
2.	3	0
3.	2,8	0
4.	2,5	0
5.	2,1	0
E(X)	2,5	0
σ	0,4	0,0
D(X)	0,2	0,0

Duct Tape/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	7,7	0
2.	7,6	0
3.	7,9	0
4.	7,3	0
5.	6,8	0
E(X)	7,5	0
σ	0,4	0,0
D(X)	0,2	0,0

Duct Tape/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	4,4	0
2.	5,2	0
3.	4,9	0
4.	3,8	0
5.	4,7	0
E(X)	4,6	0
σ	0,5	0,0
D(X)	0,3	0,0

Duct Tape/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	5,6	0
2.	7,4	0
3.	6,4	0
4.	7,1	0
5.	5,1	0
E(X)	6,3	0
σ	1,0	0,0
D(X)	0,9	0,0

Duct Tape/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	5	0
2.	4,8	0
3.	4,9	0
4.	5,1	0
5.	4,2	0
E(X)	4,8	0
σ	0,4	0,0
D(X)	0,1	0,0

Duct Tape/PVC lino		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	7,8	0
2.	5,6	0
3.	8,5	0
4.	7,2	0
5.	5,8	0
E(X)	7	0
σ	1,3	0,0
D(X)	1,6	0,0

Promipáska univerzálna/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	27	0
2.	27	0
3.	28	0
4.	26,5	0
5.	29	0
E(X)	27,5	0
σ	1,0	0,0
D(X)	1,0	0,0

Promipáska univerzálna/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	24	0
2.	26	0
3.	24	0
4.	28	0
5.	27	0
E(X)	25,8	0
σ	1,8	0,0
D(X)	3,2	0,0

Promipáska univerzálna/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	22	0
2.	26	0
3.	27	0
4.	25	0
5.	pretrhnuté	0
E(X)	25	0
σ	2,2	0,0
D(X)	4,7	0,0

Promipáska univerzálna/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	25,4	0
2.	36	0
3.	25	0
4.	29	0
5.	28	0
E(X)	28,7	0
σ	4,4	0,0
D(X)	19,6	0,0

Promipáska univerzálna/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	28,4	0
2.	36	0
3.	30	0
4.	29,7	0
5.	31	0
E(X)	31	0
σ	2,9	0,0
D(X)	8,6	0,0

Promipáska univerzálna/PVC lino		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	27	0
2.	24	0
3.	25	0
4.	24,2	0
5.	33,5	0
E(X)	26,7	0
σ	4,0	0,0
D(X)	15,7	0,0

VentureTape/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	11,9	0
2.	16	0
3.	15,4	0
4.	14,2	0
5.	13	0
E(X)	14,1	0
σ	1,7	0,0
D(X)	2,8	0,0

VentureTape/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	14,5	0
2.	13,2	0
3.	15,4	0
4.	13,2	0
5.	14,5	0
E(X)	14,2	0
σ	1,0	0,0
D(X)	0,9	0,0

VentureTape/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	10,1	0
2.	13,7	0
3.	10,9	0
4.	11,3	0
5.	12	0
E(X)	11,6	0
σ	1,4	0,0
D(X)	1,8	0,0

VentureTape/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	12,2	0
2.	13,4	0
3.	11,7	0
4.	13,9	0
5.	14,5	0
E(X)	13,1	0
σ	1,2	0,0
D(X)	1,4	0,0

VentureTape/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	14,4	0
2.	12,3	0
3.	15,5	0
4.	13,6	0
5.	14	0
E(X)	14	0
σ	1,2	0,0
D(X)	1,4	0,0

VentureTape/PVC lino		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	15,4	0
2.	12,9	0
3.	17,2	0
4.	16,2	0
5.	14,7	0
E(X)	15,3	0
σ	1,6	0,0
D(X)	2,6	0,0

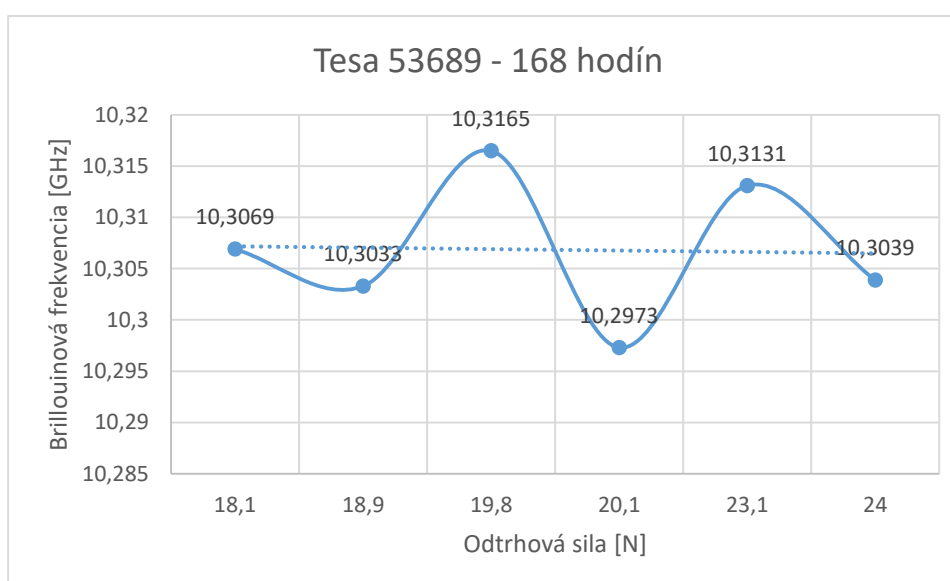
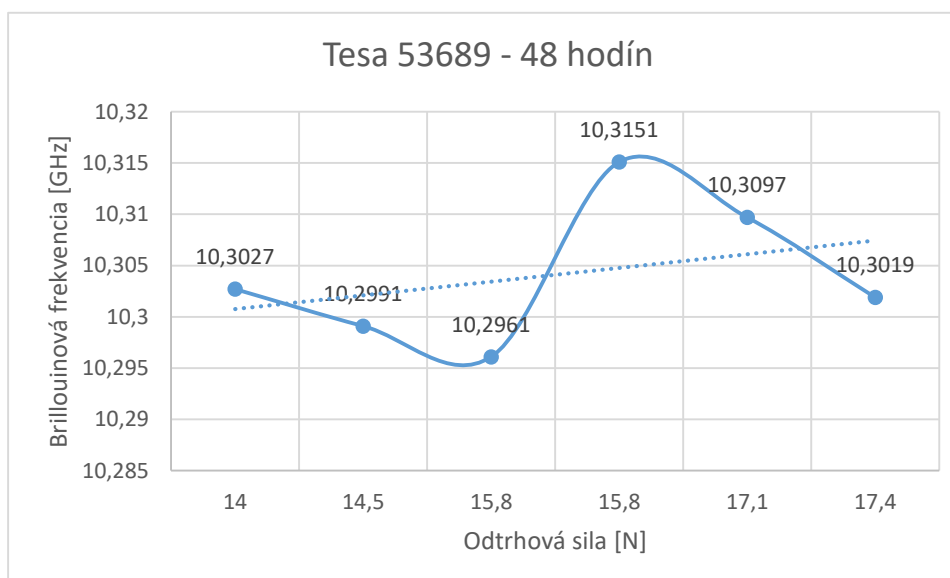
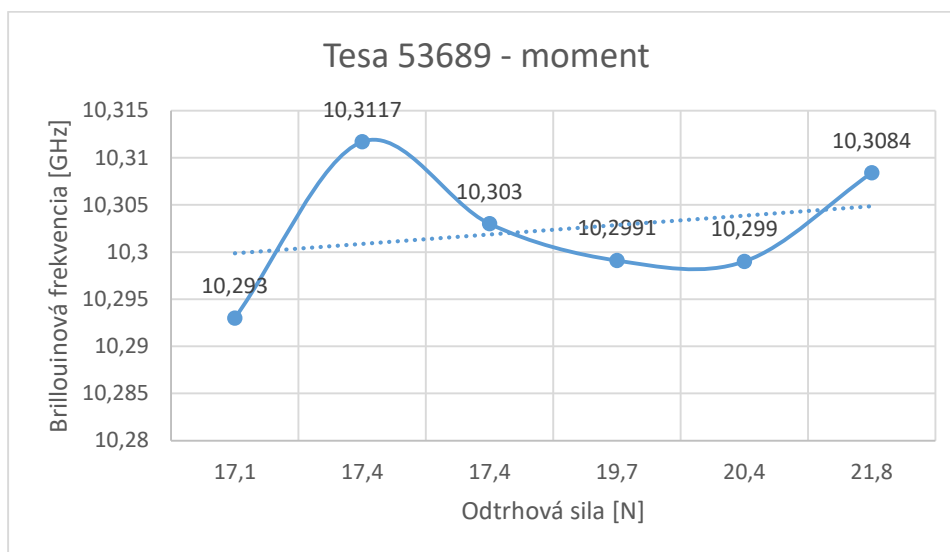
Príloha G: Tabuľka priemerných minim a priemerných maxim odtrhových síl pre vlákno č.1

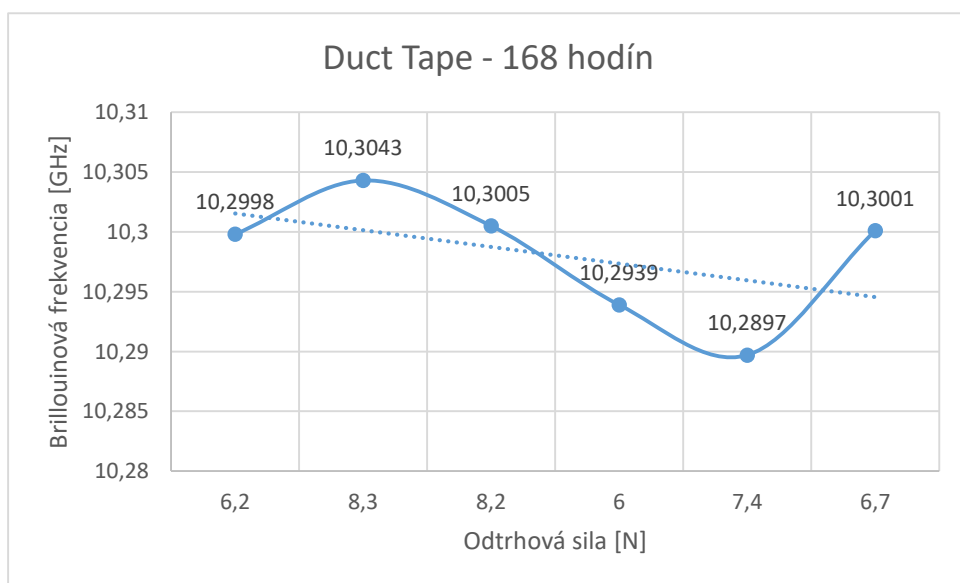
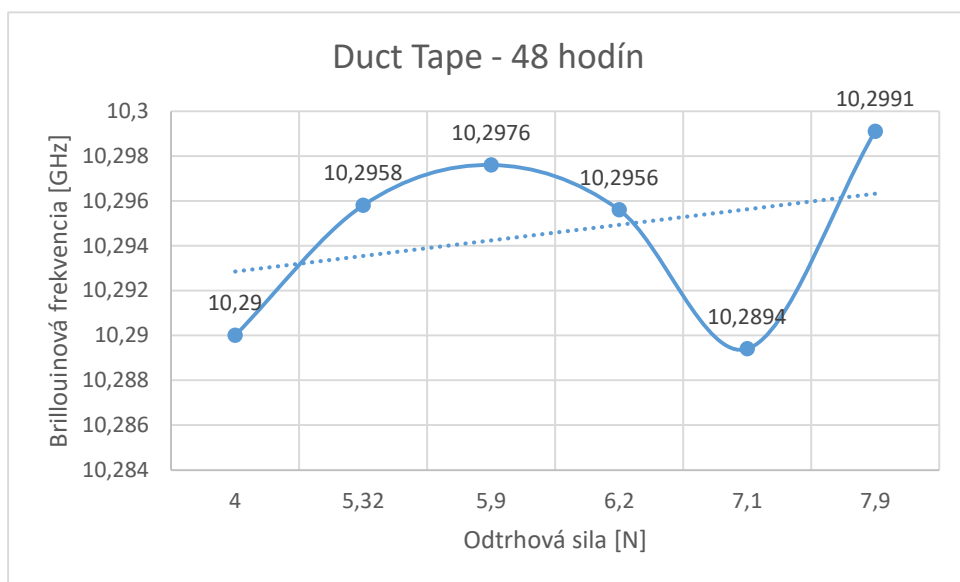
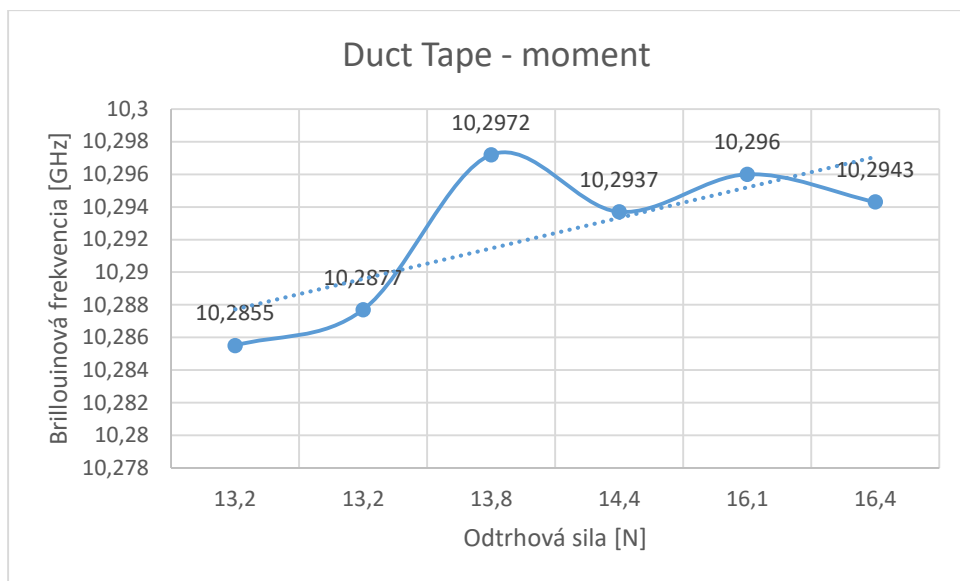
Fixačná páska	Čas	Vlákno č.1					
		Vynil	Drevo	Laminat	PVC	marmoleum	sadrokarton
Tesa 53689	moment	17,1	17,4	21,8	17,4	20,4	19,7
	48 hodín	15,8	15,8	17,1	14	17,4	14,5
	168 hodín	18,9	19,8	23,1	18,1	24	20,1
Priemer		17,26667	17,66667	20,66667	16,5	20,6	18,1
DuctTape	moment	13,8	16,1	14,4	16,4	13,2	13,2
	48 hodín	5,9	7,9	6,2	5,3	7,1	4
	168 hodín	6,2	8,3	8,2	6,7	7,4	6
Priemer		8,633333	10,76667	9,6	9,46666667	9,233333333	7,733333333
Promipaska univerzálna	moment	26,3	27,2	29,3	27	29,2	29,5
	48 hodín	27,2	35,5	29,4	34,7	36,1	30,3
	168 hodín	30,5	31,4	36,1	35,1	32,9	36,3
Priemer		28	31,36667	31,6	32,2666667	32,73333333	32,03333333
VentureTape 1553 CW	moment	23,4	26,2	25,3	27,2	27,4	26,1
	48 hodín	29,4	26,8	27,2	32,1	27,5	28,3
	168 hodín	34,4	38,1	32,7	31,1	31	38,2
Priemer		29,06667	30,36667	28,4	30,1333333	28,63333333	30,86666667
Lemovka na koberce	moment	19,6	19,6	23	23	22,7	25,2
	48 hodín	9	14,2	19,2	18,1	13,1	8,3
	168 hodín	13,6	14,1	14,6	16,9	16,7	14,2
Priemer		14,06667	15,96667	18,93333	19,3333333	17,5	15,9

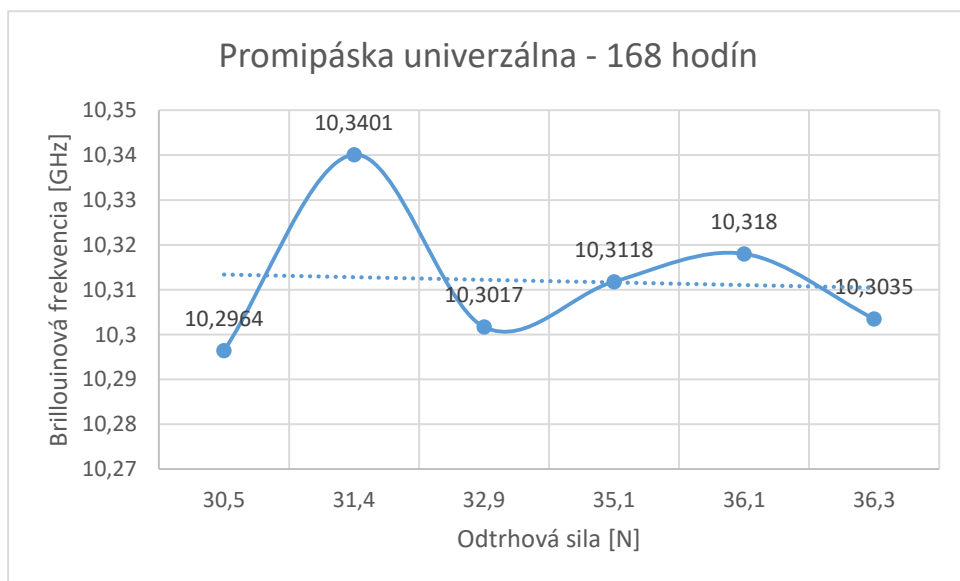
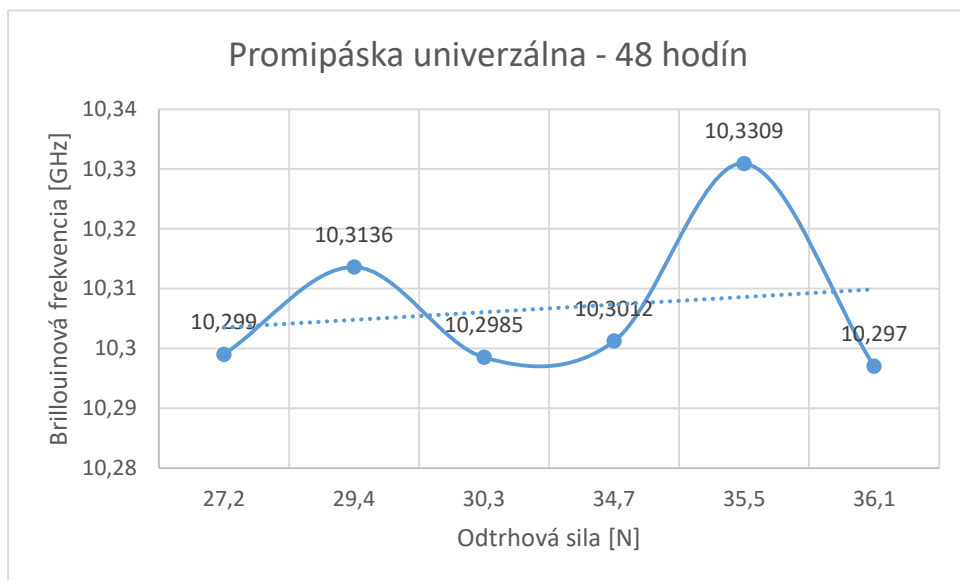
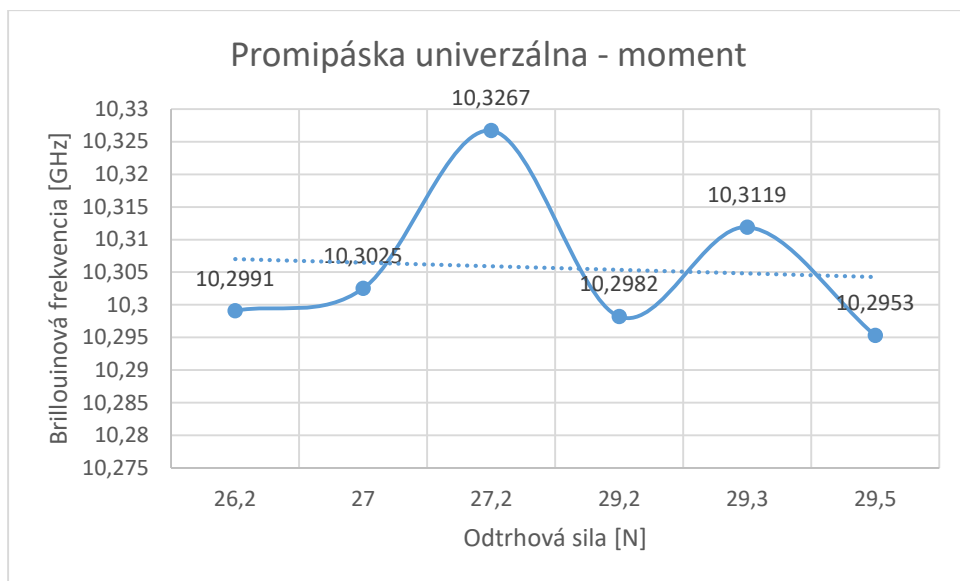
Príloha H: Tabuľka priemerných minim a priemerných maxim odtrhových síl pre vlákno č.2

Fixačná páska	Čas	Vlákno č.2					
		Vynil	Drevo	Laminat	PVC	marmoleum	sadrokarton
Tesa 53689	moment	16,6	15,9	17,8	15,6	14,1	15,8
	48 hodín	13	9,3	13,9	10,4	14,1	13,3
	168 hodín	12,1	17	14,7	16,8	16,6	13,9
Priemer		13,9	14,06666667	15,46666667	14,26666667	14,93333	14,33333333
DuctTape	moment	9,1	9,1	11,6	10,5	10	11,4
	48 hodín	4,2	2,6	5,1	4,6	4	4,9
	168 hodín	2,5	4,6	4,8	7,2	6,3	7
Priemer		5,266666667	5,433333333	7,166666667	7,433333333	6,766667	7,766666667
Promipaska univerzálna	moment	15,3	16,6	21	16,8	16,5	17,5
	48 hodín	19,9	22,5	22,1	24,1	23,6	22
	168 hodín	27,5	25	31	25,8	28,7	26,7
Priemer		20,9	21,36666667	24,7	22,23333333	22,93333	22,06666667
VentureTape 1553 CW	moment	10,3	8	11	4,2	10,1	10,3
	48 hodín	10	8,4	11,6	13,2	11,3	12,1
	168 hodín	14,1	11,6	14	14,2	13,1	15,3
Priemer		11,46666667	9,333333333	12,2	10,53333333	11,5	12,56666667
Lemovka na koberce	moment	16,2	17,9	17,8	17,6	18	16
	48 hodín	13,3	11,6	12,5	15,2	17	13,6
	168 hodín	13,7	12,7	14,1	16,4	15,9	12,9
Priemer		14,4	14,06666667	14,8	16,4	16,96667	14,16666667

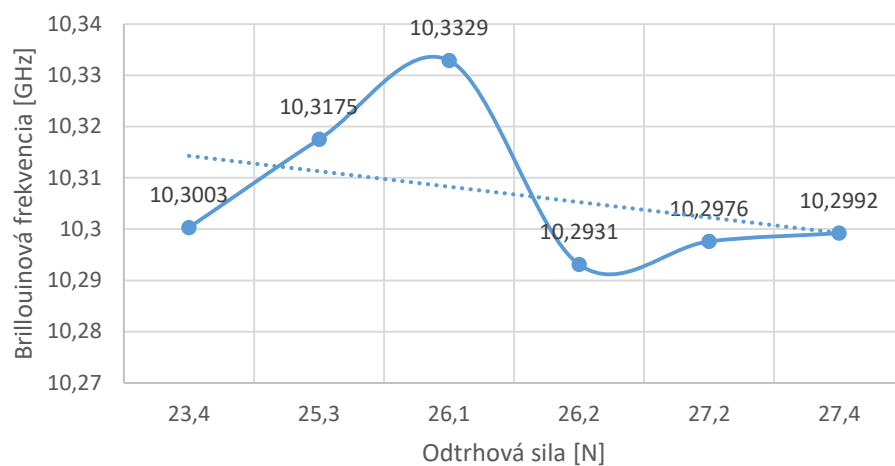
Príloha I: Grafy odtrhových síl v závislosti od Brillouinovej frekvencie pre vlákno č.1



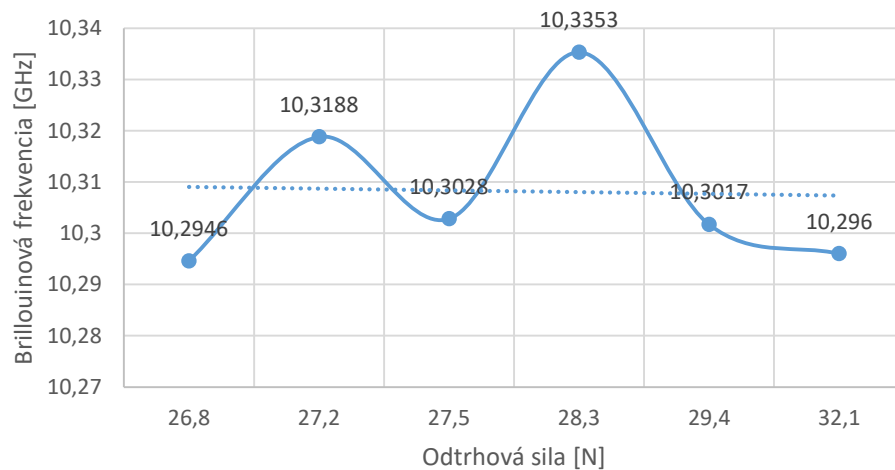




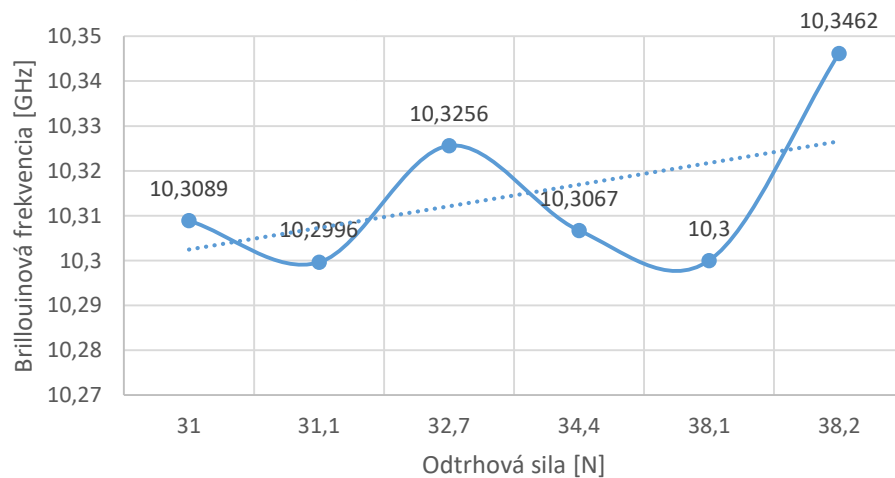
Venture Tape 1553 CW - moment

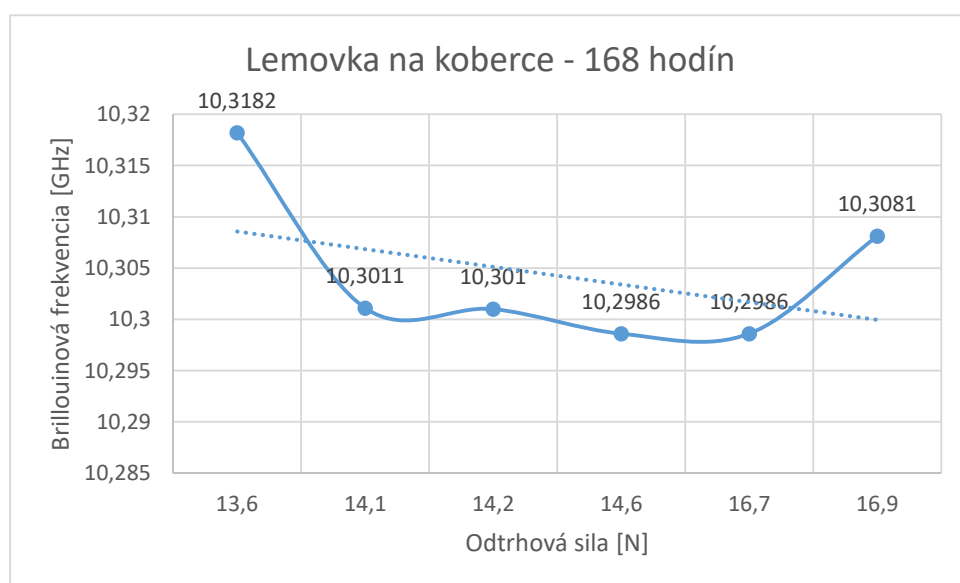
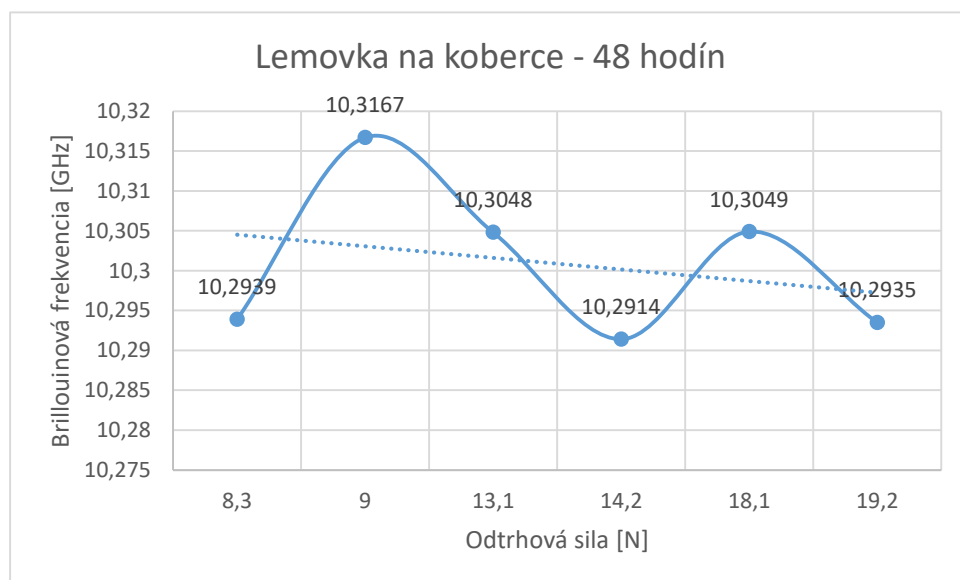
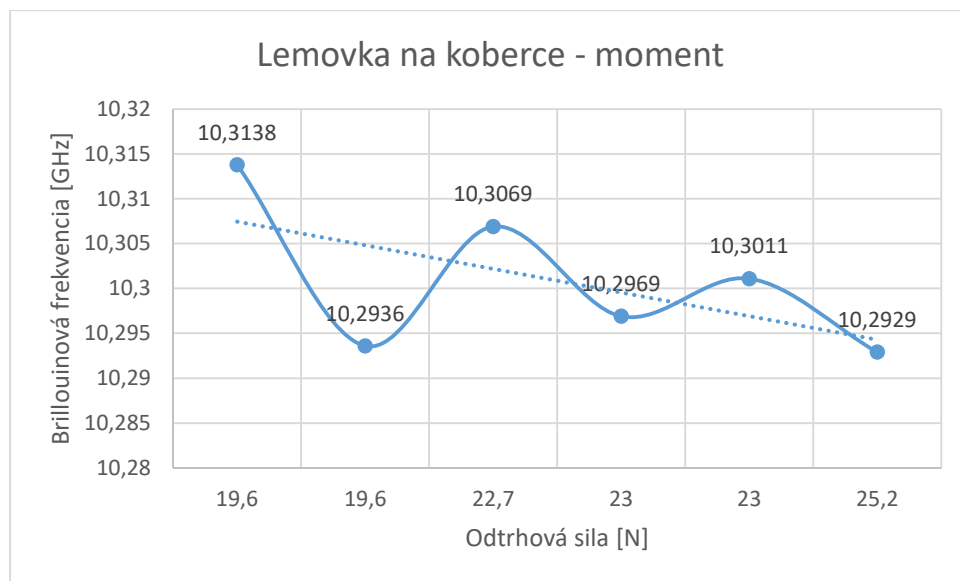


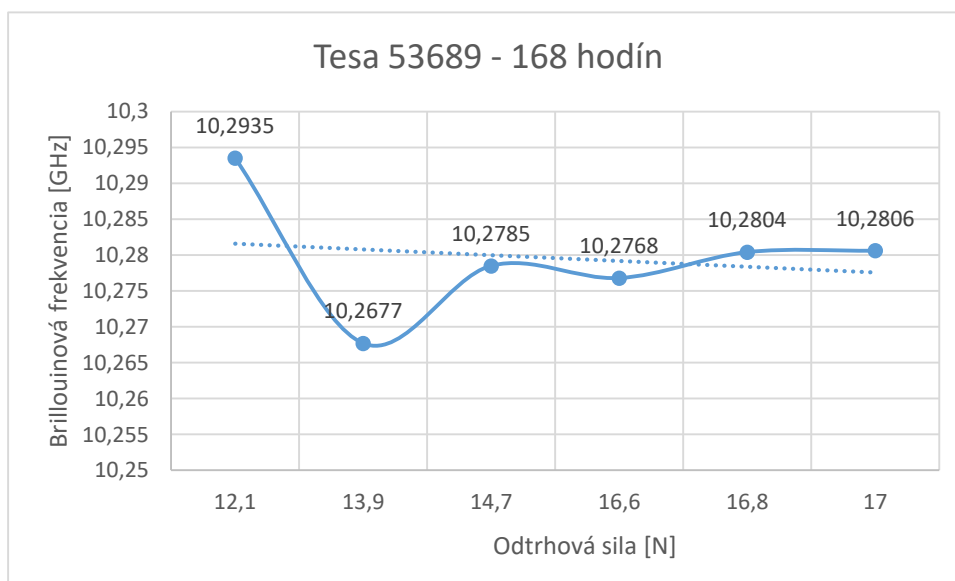
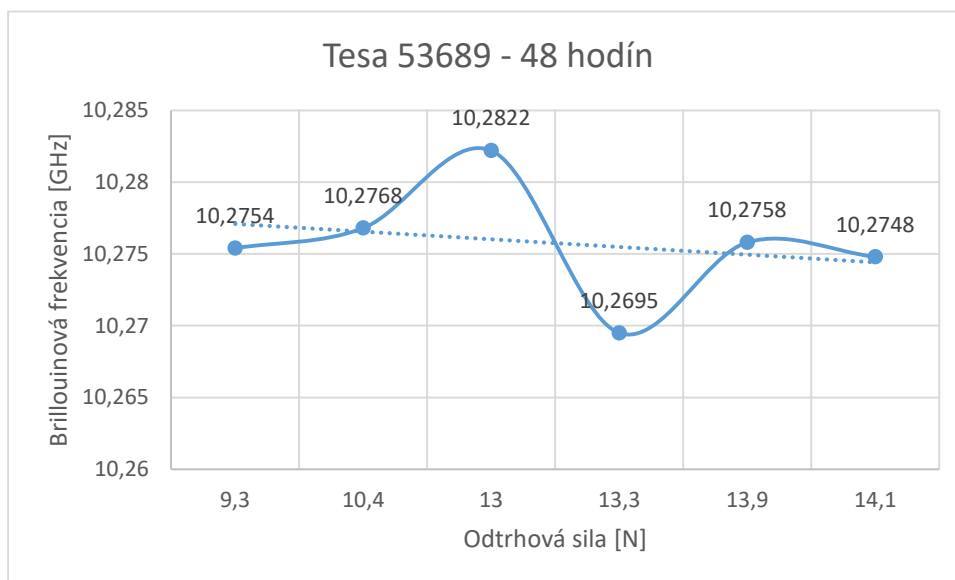
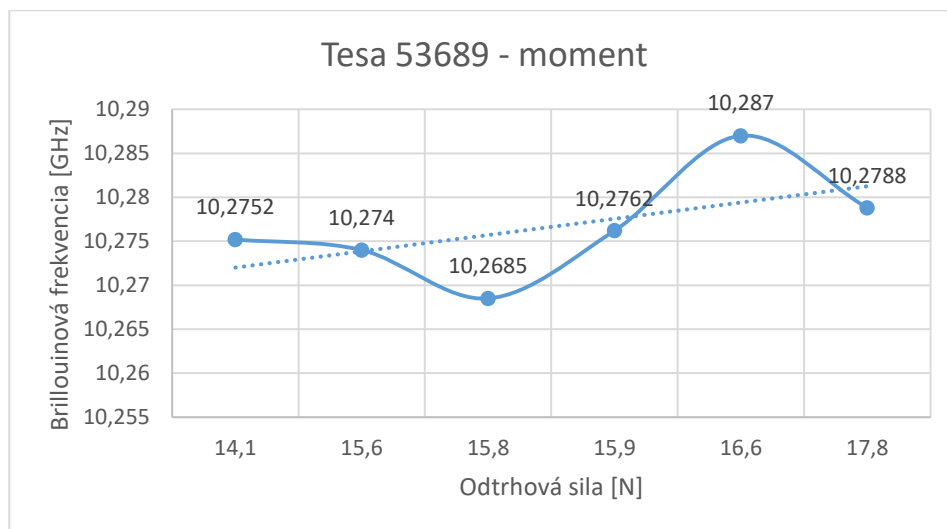
VentureTape 1553 CW - 48 hodin

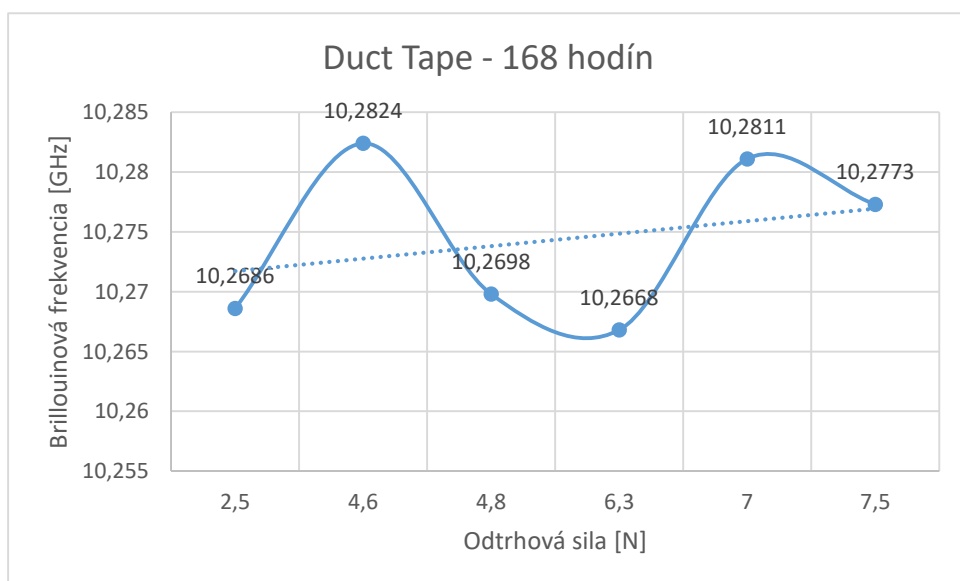
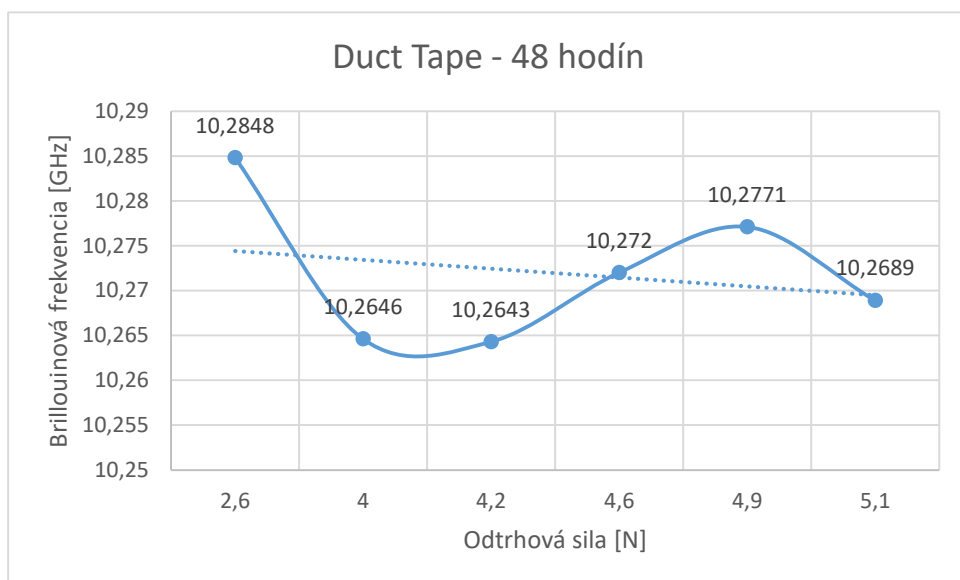
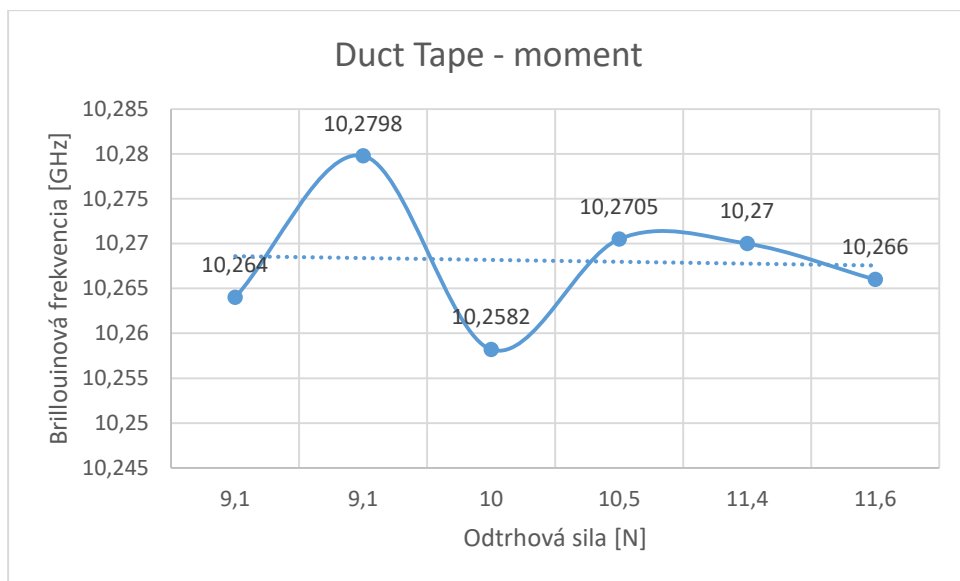


Venture Tape 1553 CW - 168 hodin

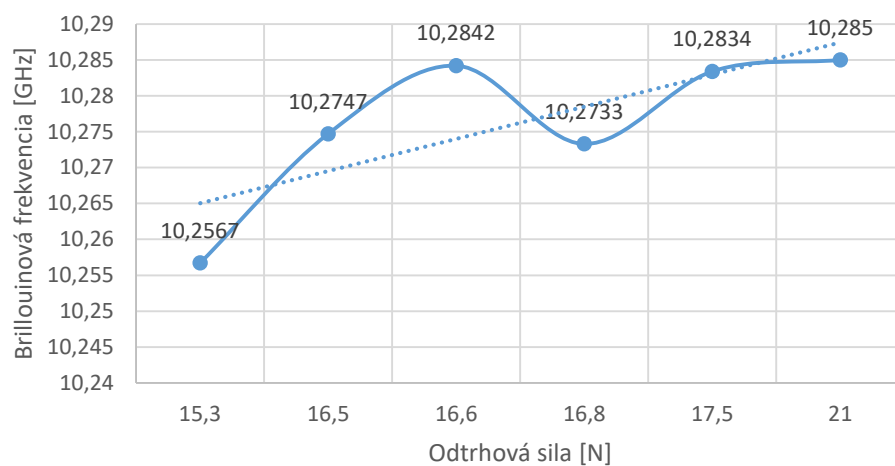




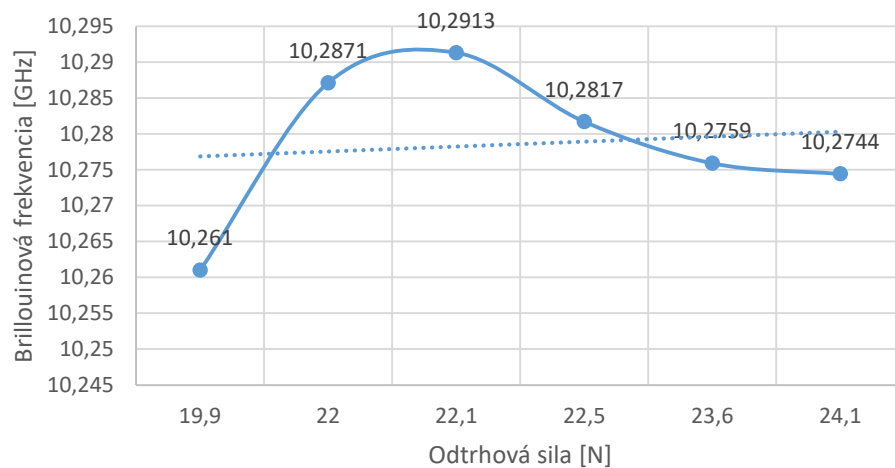




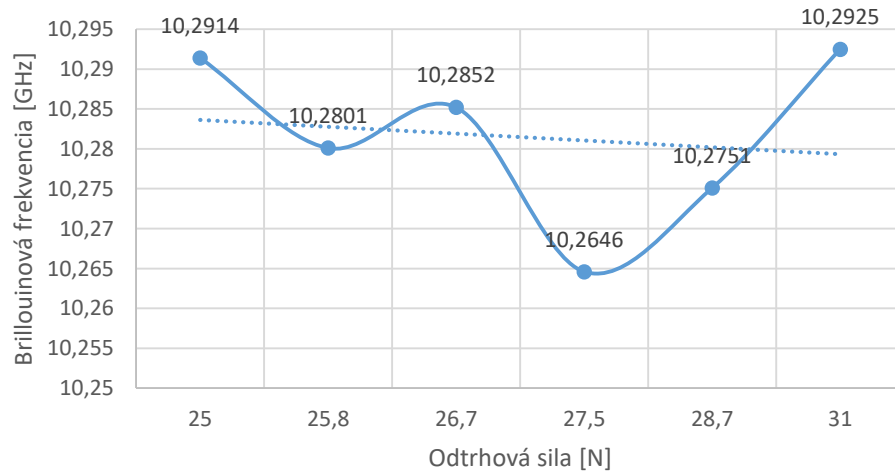
Promipáska univerzálna - moment



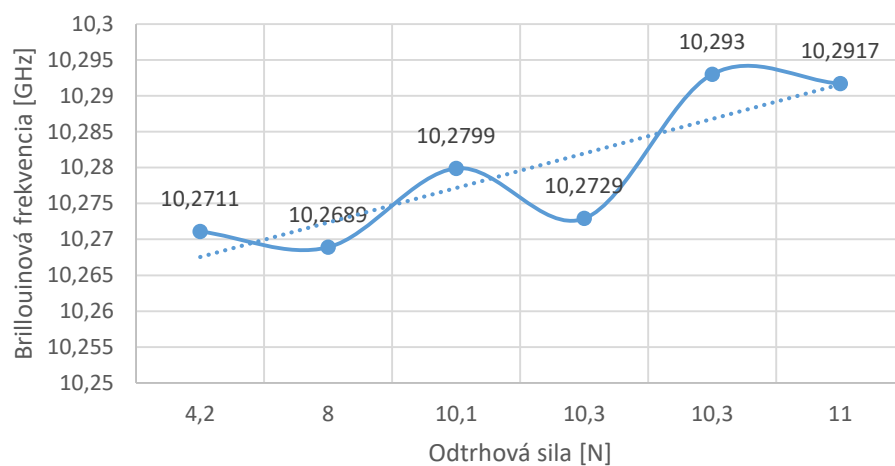
Promipáska univerzálna - 48 hodín



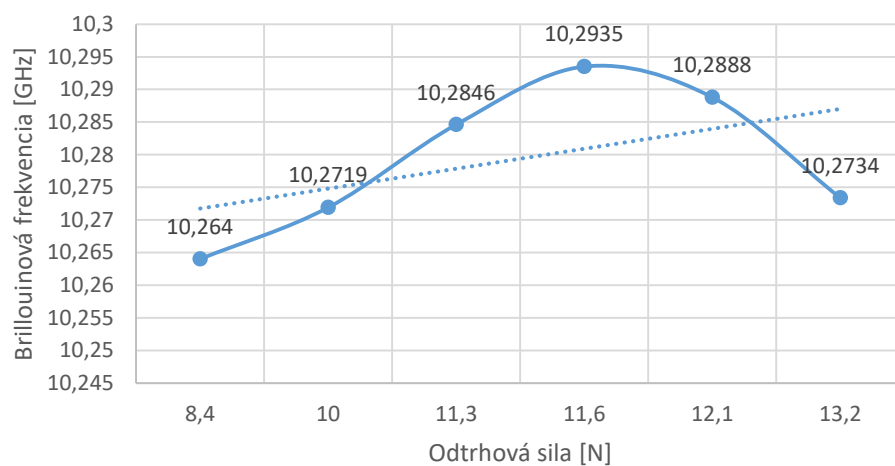
Promipáska univerzálna - 168 hodín



VentureTape 1553 CW - moment



VentureTape 1553 CW - 48 hodín



VentureTape 1553 CW - 168 hodín

